

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

**ВЕСТНИК СИБАДИ**

**THE RUSSIAN AUTOMOBILE  
AND HIGHWAY INDUSTRY JOURNAL**

**Том 16, № 3. 2019. Сквозной номер выпуска – 67  
Vol. 16, no. 3. 2019. Continuous issue – 67**

**Омск – 2019**

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

Editor-in-Chief, **Alexandr P. Zhigadlo**, Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of Academy of Military Science, Rector of the 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

**Корьтов 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

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Корчагин П.А.**, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

**Щербаков В.С.**, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

**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

**Данилов Б.Б.**, д-р техн. наук, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

**Жусупбеков А.Ж.**, д-р техн. наук, проф., член-кор. Национальной инженерной академии Республики Казахстан, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан.

**Макеев С.А.**, д-р техн. проф. наук ФГБОУ ВО «СибАДИ» г. Омск, Россия

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

**Мочалин С.М.**, д-р техн. наук, проф., 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, проя. Высшая школа экономики в Варшаве (SGH), г. Варшава, Польша

**Подшивалов В.П.**, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

**Пономарев А.Б.**, д-р техн. наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия.

**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

**Леонич 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

## EDITORIAL TEAM

### *Transport, mining and mechanical engineering*

**Nikolai S. Galdin**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

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

### *Transport*

**Nikolai G. Pevnev**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Evgeniy E. Vitvitskiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

### *Construction and architecture*

**Viktor V. Sirotyuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Irina L. Chulkova**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

## EDITORIAL BOARD

**Pavel A. Korchagin**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Vitaliy V. Shcherbakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Yuriy L. Vinnikov**, Doctor of Technical Sciences, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava, Ukraine

**Gleb L. Gorynin**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor of the «SurGUKMAO-Yugra», Surgut, Russia

**Boris B. Danilov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mining and Construction Geotechnics, Mining Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**Askar Zh. Zhusupbekov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, ENU named aft eLr. N. Gumilev, Astana, Kazakhstan

**Sergey A. Makeev**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Vitaliy A. Meshcheryakov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Sergey M. Mochalin**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Yuriy V. Nemirovsky**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor of the Federal State Budgetary Institution of Science «The Institute of Theoretical and Applied Mechanics named after S.A. Khristianovich» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**Yana A. Peregood**, Doctor of Economics, Professor, Higher School of Economics in Warsaw, Warsaw, Poland

**Vladimir P. Podshivalov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus

**Andrey B. Ponomarev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Technical University, Perm, Russia

**Leonid A. Khmara**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture, Dnepropetrovsk, Ukraine **Edwin Koźniewski**, Doctor of Science, Professor, Bialystok, Poland

**Edwin Koźniewski**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Bialystok, Poland

**Tatiana V. Bobrova**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**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

**Корнеев С.В.**, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ОМГТУ», г. Омск, Россия

**Боровик В.С.**, д-р техн. наук, проф., Волгоградский научно-технический центр, г. Волгоград, Россия

**Коротаев Д.Н.**, д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

**Лесовик В.С.**, д-р техн. наук, проф., член-кор. РААСН, БГТУ им. Шухова, г. Белгород, Россия

**Савельев С.В.**, д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

**Корягин М.Е.**, д-р техн. наук, доц., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Россия

**Рассоха В.И.**, д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

**Кондратенко А.С.**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)», ИГД СО РАН, г. Новосибирск, Россия

**Маткеримов Т.Ы.**, д-р техн. наук, проф., КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Киргизская Республика

**Курганов В.М.**, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь, Россия

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

**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

**Чекардовский М. Н.** д-р техн. наук, проф. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия

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

**Хомченко В.Г.**, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ОМГТУ», г. Омск, Россия

**Sergey N. Leonovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Gali S. Gumarov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Member-cor. of the Russian Academy of Natural History, Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan

**Zhirkalbek S. Sharshembiev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Scriabin, Bishkek, Kyrgyz Republic

**Nikolai N. Yakunin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

**Vladimir N. Efimenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

**Natalia V. Yakunina**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

**Sergey V. Korneev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia

**Vitaliy S. Borovik**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd Science and Technology Center, Volgograd, Russia

**Dmitriy N. Korotaev**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Valeriy S. Lesovik**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Member-cor. of RAASN, BSTU named after Shukhov, Belgorod, Russia

**Sergey V. Saveliev**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Mark E. Koryagin**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

**Vladimir I. Rassokha**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

**Andrey S. Kondratenko**, Candidate of Technical Sciences, Siberian State University of Railway Transport (SGUPS), IGD SB RAS, Novosibirsk, Russia

**Taalaibek I. Matkerimov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, KSTU named after I. Razzakova, Bishkek, Kyrgyz Republic

**Valeriy M. Kurganov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tver State University, Tver, Russia

**Sergey A. Matveev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

**Vladimir V. Zyryanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Don State Technical University, Rostov-na-Donu

**Yuriy V. Trofimenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) Moscow, Russia

**Alexandr N. Novikov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

**Mikhail N. Chekarovskiy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State budget institution of higher education «Tyumen industrial University», Tyumen, Russia

**Václav Skala**, Professor of University of West Bohemia, Plsen, Czech Republic

**Vasiliiy G. Khomchenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Адрес издателя: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. Тел. +7 (3812) 65-88-30; режим доступа: [vestnik.sibadi.org](http://vestnik.sibadi.org); e-mail: [vestnik\\_sibadi@sibadi.org](mailto:vestnik_sibadi@sibadi.org)

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

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), регистрационный номер СМИ ПИ № ФС 77-73591 от 31.08. 2018 года.

Научный рецензируемый журнал Вестник СибАДИ / The Russian Automobile and Highway Industry Journal входит в перечень ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК решением президиума ВАК от 25.02.2011 г.; В соответствии с распоряжением Минобрнауки России от 28 декабря 2018 г. № 90-р включен в новый перечень. 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](http://vestnik.sibadi.org). Редакционный блок осуществляет экспертную оценку, рецензирование и проверку статей на плагиат.

Подписано в печать 21.06.2019. Дата выхода в свет 28.06.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Arial. Печать оперативная.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 27,25 Тираж 500 экз. Заказ 500 экземпляров. Свободная цена.

Отпечатано в типографии ИПК ФГБОУ ВО «СибАДИ» 644080, г. Омск, пр. Мира, 5.

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2019

**РАЗДЕЛ I.**

**ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**

*Г.Г. Бурый, В.С. Щербаков, С.Б. Скобелев, В.Ф. Ковалевский*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОВША  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА..... 202**

*Н.С. Любимый, А.Д. Змитрович, Б.С. Четвериков, А.В. Шеховцов*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕХАНИКИ  
СМЕШИВАНИЯ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ПОВТОРНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА..... 214**

*В.А. Николаев*

**ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЁТ МОЩНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО РЕЗАНИЯ ГРУНТА ..... 228**

**РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ**

*С.М. Мочалин, Ю.А. Колебер*

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ  
МАРШРУТНЫХ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ..... 242**

*С.Н. Павлов, Ю.В. Павлова*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ  
НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ ..... 256**

*И.М. Рябов, Р.Я. Кашманов*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ  
НА МАРШРУТЕ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОБУСОВ  
РАЗНОЙ ВМЕСТИМОСТИ ..... 264**

*Н.В. Савенков, В.В. Понякин, С.А. Чекулаев, В.В. Бутенко*

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЕЙ  
В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ..... 276**

*А.И. Фадеев, Е.В. Фомин, С. Алхуссейни*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО КОЭФФИЦИЕНТА  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВМЕСТИМОСТИ ГОРОДСКОГО  
ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ..... 290**

*М.И. Шаров, А.Ю. Михайлов*

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО  
ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ..... 302**

*О.Е. Янучкова, М.Р. Янучков, Н.В. Якунина*

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ДЕТЕЙ  
АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ (АВТОБУСАМИ)  
В МЕЖДУГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ С УЧЕТОМ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ..... 312**

**РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

*Л.Х. Загороднюк, Д.А. Сумской, С.В. Золотых*

**ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕПЛОЗАЩИТНАЯ СИСТЕМА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО РАСТВОРА  
ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ..... 324**

<i>А.С. Маевлянов, Э.К. Сардарбекова</i> <b>УЛУЧШЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ АКТИВАЦИИ СЫРЬЯ .....</b>	<b>334</b>
<i>А.К. Матыева</i> <b>ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АРБОЛИТА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ .....</b>	<b>352</b>
<i>В.М. Мутасов, Н.В. Стаценко, Ф.К. Саметов, А.М. Курбонов</i> <b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ .....</b>	<b>366</b>
<i>А.В. Селиванов, Ф.Ф. Резер</i> <b>РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ-ОБОЛОЧКИ.....</b>	<b>378</b>
<b>PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING</b>	
<i>G.G. Buriy, V.S. Shherbakov, S.B. Skobelev, V.F. Kovalevskiy</i> <b>IMPROVEMENT OF THE HYDRAULIC EXCAVATOR BUCKET DESIGN .....</b>	<b>203</b>
<i>N.S. Lyubimiy, A.D. Smitrovich, B.S. Chetverikov, A.V. Shekhovcov</i> <b>MECHANICS OF MIXING OF PARTICLES IN THE PROCESS OF RE-PRODUCTION OF ASPHALT CONCRETE: DEFINITION OF FUNCTIONAL RELATIONS .....</b>	<b>215</b>
<i>Vladimir A. Nikolayev</i> <b>APPROXIMATE CALCULATION OF THE CIRCULAR SOIL CUTTING CAPACITY .....</b>	<b>229</b>
<b>PART II. TRANSPORT</b>	
<i>S.M. Mochalin, J.A. Koleber</i> <b>URBAN PASSENGER TRANSPORT ROAD NETWORKS: PROSPECTS OF METHODS' OPTIMIZATION .....</b>	<b>243</b>
<i>S.N. Pavlov, Yu.V. Pavlova</i> <b>LIGHTING ON UNREGULATED PEDESTRIAN CROSSING .....</b>	<b>257</b>
<i>I.M. Ryabov, R.Ya. Kashmanov</i> <b>IMPROVING THE ORGANIZATION OF PASSENGER SERVICE ON THE ROUTE BY USING BUSES OF DIFFERENT CAPACITY .....</b>	<b>265</b>
<i>N.V. Savenkov, V.V. Ponyakin, S.A. Chekulaev, V.V. Butenko</i> <b>MODERN EQUIPMENT FOR DETERMINING TRACTOR-SPEED PROPERTIES OF THE VEHICLE: CHARACTERISTICS' ANALYSIS IN LABORATORY CONDITIONS.....</b>	<b>277</b>
<i>A.I. Fadeev, Ye.V. Fomin, S. Alhousseini</i> <b>URBAN PUBLIC TRANSPORT: MARGINAL VALUE OF THE CAPACITY FACTOR .....</b>	<b>291</b>
<i>M.I. Sharov, A.Yu. Mikhaylov</i> <b>ASSESSMENT OF RELIABILITY OF THE CITY PUBLIC TRANSPORT FUNCTIONING IN THE RUSSIAN FEDERATION CITIES .....</b>	<b>303</b>
<i>O. E. Yanuchkova, M, R. Yanuchkov, N. V. Yakunina</i> <b>CHILDREN TRANSPORTATION BY BUSES IN INTERCITY TRANSFERS TAKING INTO ACCOUNT AGE FEATURES .....</b>	<b>313</b>

**PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**

*L.Kh. Zagorodnyuk, D.A. Sumskoy, S.V. Zolotykh*

**EFFECTIVE HEAT-PROTECTIVE SYSTEM WITH THE USE  
OF THERMAL INSULATING SOLUTION OF REDUCED DENSITY ..... 325**

*A.S. Mavlyanov, E.K. Sardarbekova*

**RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CERAMIC MASSES:  
IMPROVEMENT BY COMPLEX MATERIAL ACTIVATION..... 335**

*A.K. Matyeva*

**MANUFACTURE OF MODIFIED ARBOLIT FROM LOCAL RAW MATERIALS:  
OPTIMIZATION OF COMPOSITION AND PROPERTIES  
OF RAW MATERIAL COMPONENTS ..... 353**

*V.M. Mitasov, N.V. Statsenko, F.K. Sametov, A.M. Kurbonov*

**CRACK STRENGTH OF HOLLOW CORE SLABS: EXPERIMENTAL RESEARCH ..... 367**

*A.V. Selivano, F.F. Reger*

**RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH  
OF THE REINFORCED CONCRETE SHELL-SLAB..... 379**

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

УДК 621.879.064

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОВША ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Г.Г. Бурый<sup>1\*</sup>, В.С. Щербаков<sup>1</sup>, С.Б. Скобелев<sup>2</sup>, В.Ф. Ковалевский<sup>2</sup>

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

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

\*buryy1989@bk.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Строительство инженерных сооружений невозможно без строительных и дорожных машин. На покупку данных машин выделяется большой объем финансирования. Основные пути сокращения затрат на технику заключаются в более рациональной эксплуатации техники, а также в снижении ее стоимости путем конструктивных изменений. В статье рассматривается новая конструкция оборудования одноковшового гидравлического экскаватора меньшей стоимости.

**Материалы и методы.** Основными способами снижения затрат на строительные машины являются более рациональная эксплуатация и снижение стоимости конструкции при сохранении требуемых характеристик оборудования. В статье рассматриваются конструктивные изменения рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора, позволяющие снизить затраты на их производство.

**Результаты.** В статье описана новая конструкция ковша одноковшового гидравлического экскаватора. Проведен анализ существующих конструкций ковшей экскаваторов. Представлены силы, действующие на ковш экскаватора при копании. Описаны пути решения проблемы сокращения затрат на производство одноковшовых гидравлических экскаваторов. Проведен анализ схемы нагружения ковшей в процессе копания. Описана схема нагружения ковша, позволяющая снизить силы сопротивления копанью.

**Обсуждение и заключение.** Предложена конструкция рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора, позволяющая снизить силы сопротивления копанью, что позволит устанавливать гидропривод более низкой стоимости.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экскаватор, ковш, сила, сопротивление, копанье, конструкция, производительность, рабочее оборудование, техника, грунт.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Авторы выражают благодарность рецензентам, которые будут работать с настоящей статьей.

© Г.Г. Бурый, В.С. Щербаков, С.Б. Скобелев, В.Ф. Ковалевский



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# IMPROVEMENT OF THE HYDRAULIC EXCAVATOR BUCKET DESIGN

G.G. Buriy, V.S. Shherbakov, S.B. Skobelev, V.F. Kovalevskiy

<sup>1</sup>Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia

<sup>2</sup>Omsk State Technical University,  
Omsk, Russia

\*buryy1989@bk.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** Construction of engineering structures is impossible without building and road machines. The large volume of financing is allocated for such machines' purchase. The main ways of reducing costs of the equipment consist in more rational operation of the equipment and also in decrease of equipment's cost by constructive changes. The paper demonstrates the new design of the single-bucket hydraulic excavator with smaller cost.

**Materials and methods.** The main ways of cost reduction for construction machines are more rational operation and depreciation of a design with the required characteristics' maintaining. The paper describes constructive changes of the working equipment of the single-bucket hydraulic excavator, which allow decreasing the production costs.

**Results.** The authors describe the new bucket design of the single-bucket hydraulic excavator. Moreover, the authors carry out the analysis of the existing buckets' design. The paper also illustrates the functioning on bucket forces while digging process. The authors describe the solutions of the problem for productivity increase of the single-bucket in hydraulic excavators. In addition, the authors make the scheme of the bucket loading while digging process. Such scheme helps to reduce resistance forces of digging.

**Discussion and conclusions.** As a result, the paper presents the design of the working equipment of the hydraulic excavator's single-bucket, which allows reducing resistance forces of digging. Such results would help to establish buckets of bigger capacity and would lead to the productivity increase.

**KEYWORDS:** excavator, bucket, force, resistance, digging, design, productivity, working equipment, machines, soil.

**ACKNOWLEDGEMENTS.** The authors express their gratitude to the reviewers of the paper.

© G.G. Buriy, V.S. Shherbakov, S.B. Skobelev, V.F. Kovalevskiy



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

**ВВЕДЕНИЕ**

Развитие экономики невозможно представить без строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Перечень инженерных сооружений очень разнообразен – это и автомобильные дороги, и здания, и трубопроводы, и многое другое. Строительство и эксплуатация инженерных сооружений осуществляются с применением строительной и землеройной техники. Одним из самых распространенных видов землеройной техники является одноковшовый гидравлический экскаватор, в частности с обратной лопатой. Данная машина осуществляет копание и перемещение грунта. Рабочим органом одноковшового гидравлического экскаватора является ковш. Основные виды ковшей, применяемых на одноковшовых гидравлических экскаваторах, представлены на рисунке 1<sup>[1]</sup>.

На сегодняшний день повышение производительности экскаваторов является актуальной задачей. В основном для решения этой

проблемы применяются системы управления работой экскаватора, содержащие датчики и электронные устройства. Другим направлением в решении данной проблемы является рекуперация энергии, т.е. накопление и последующее ее использование. Что касается конструктивных изменений, то в настоящее время предлагаются конструкции ковшей, дополненных определенными конструктивными элементами. В предлагаемых конструкциях упрощается внедрение ковша в материал, улучшаются маневренность и подвижность рабочего оборудования и многое другое<sup>2, 3</sup> [2].

**МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ**

Чтобы максимально повысить производительность одноковшового гидравлического экскаватора, следует проанализировать, от каких конструктивных элементов она зависит в большей степени. Копание менее энергозатратно, если оно осуществляется гидроцилиндром поворота ковша, а не гидроцилиндрами



*Рисунок 1 – Основные виды ковшей одноковшовых гидравлических экскаваторов (обратная лопата)*

*Figure 1 – Main buckets' types of the single-bucket hydraulic excavators (return shovel)*

<sup>1</sup> Кузнецова В.Н., Завьялов А.М. Оптимизация формы рабочих органов землеройных машин. Омск : ОмГПУ, 2008.

<sup>2</sup> Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы. Омск : СибАДИ, 2001. 528 с.

<sup>3</sup> Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. М. : Машиностроение, 1990. 360 с.

поворота рукояти и стрелы. Это связано с меньшей силой сопротивления копанью, для преодоления которой применяются гидроцилиндры с меньшими размерами в отличие от гидроцилиндров поворота рукояти и стрелы. В связи с этим для решения проблемы повышения производительности одноковшового экскаватора сделан акцент на конструкции ковша экскаватора и его гидропривода. Конструкция ковша экскаватора должна обеспечивать максимальную эффективность его работы. Для ее достижения силы сопротивления при копании должны быть минимальны [6, 7, 8, 9].

Силы, действующие в процессе копания на ковше, представленные на рисунке 1, достаточно хорошо изучены и показаны на рисунке 2.

В процессе внедрения ковша в грунт на

него действуют следующие силы сопротивлений:  $F_{кр}$  – сила на режущей кромке зуба, Н;  $F_{тр}^D$  – сила трения зуба о грунт, Н;  $F_a$  – сила грунта на стенку ковша, Н;  $F_{тр}^{mp}$  – сила трения стенки ковша о грунт, Н;  $F_{cp}$  – сила сопротивления разрушению слоев грунта в точке С, Н;  $F_c$  – реакция сил грунта о грунт при сдвиге слоя в точке С, Н;  $F_{cc}$  – сила сцепления частиц между слоями грунта, Н [7, 8, 9].

Момент силы на режущей кромке зуба  $M_k$  по зависимости [7, 8, 9]:

$$M_{кр} = F_{кр} \cdot l_4, \quad (1)$$

где  $l_4$  – расстояние от оси поворота ковша до кромки зуба, м.

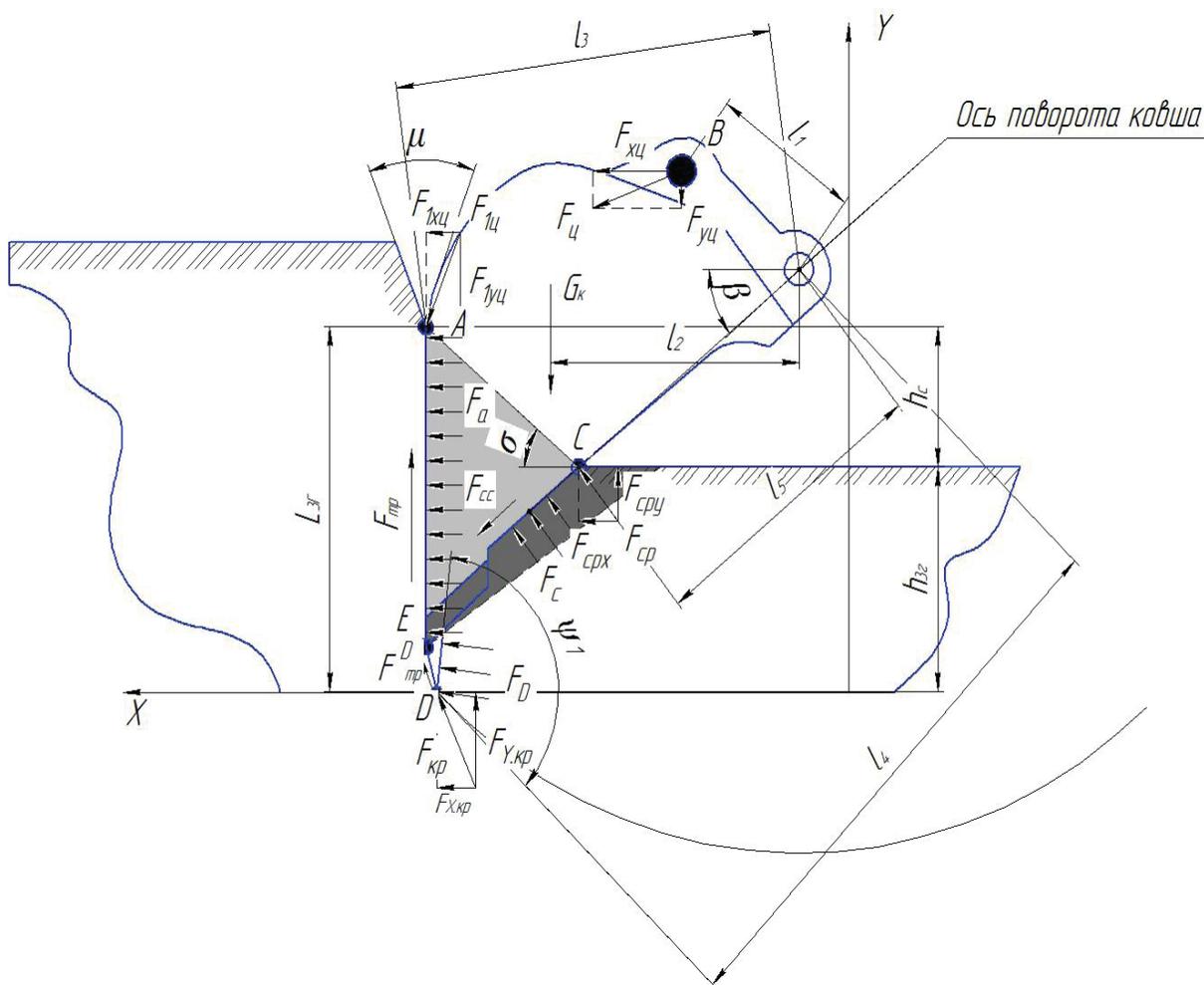


Рисунок 2 – Силы, действующие на ковш в процессе копания

Figure 2 – Forces functioning on the bucket while digging

Момент силы трения зуба о грунт  $M_{mp}^D$  определим по зависимости [7, 8, 9]

$$M_{mp}^D = F_{mp}^D \cdot l_4 = f \cdot F_D \cdot \text{ctg}(\psi_1 + \mu) \cdot l_4, \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент трения грунта по металлу,  $f = 0,25-0,5$ ;  $F_D$  – реакция сил грунта в точке  $D$ , Н;  $\psi_1$  – угол наклона к площадке износа по отношению к траектории зуба ковша, град;  $\mu$  – угол трения стенки ковша о грунт, град.

Момент силы грунта на стенке ковша  $M_a$  определим по зависимости [7, 8, 9]

$$M_a = F_a \cdot l_3 = F_{1u} \cdot \mu \cdot \left( \frac{h_c + h_{3z}}{h_{3z}} \right) \cdot l_3, \quad (3)$$

где  $F_{1u}$  – сила гидроцилиндра в точке  $A$ , Н;  $h_c$  – высота формируемой стружки, м;  $h_{3z}$  – глубина внедрения (заглубления), м;  $l_3$  – расстояние от оси поворота ковша до точки  $A$ , м.

Момент от силы трения стенки ковша о грунт  $M_{mp}$  определим по зависимости [7, 8, 9]:

$$M_{mp} = F_{mp} \cdot l_3 = f_D \cdot F_a \cdot k \cdot l_3, \quad (4)$$

где  $f_D$  – коэффициент сопротивления перемещению относительно поверхности стенки ковша, вызванному силой трения грунта о металл,  $f_D = 0,6 - 0,85 \cdot f$ ;  $k$  – коэффициент липкости грунта.

Момент силы сопротивления разрушению слоев грунта в точке  $C$   $M_{cp}$  определим по зависимости [7, 8, 9]

$$M_{cp} = F_{cp} \cdot l_5 = F_c \cdot \alpha \cdot l_5, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент сопротивления сдвигу слоя грунта по отношению к траектории;  $l_5$  – расстояние от оси поворота ковша до точки  $C$ , м.

Сила сцепления частиц между слоями грунта  $F_{cc}$  направлена таким образом, что не будет оказывать сопротивление копанью.

Момент силы гидроцилиндра поворота ковша  $M_u$  определим по зависимости [7, 8, 9]

$$M_u = F_u \cdot l_1, \quad (6)$$

где  $F_u$  – сила гидроцилиндра поворота ковша, Н;  $l_1$  – расстояние от оси поворота ковша до точки  $B$ , м.

Момент от силы тяжести ковша  $M_k$  определим по зависимости [7, 8, 9]

$$M_k = G_k \cdot l_2, \quad (7)$$

где  $G_k$  – сила тяжести ковша, Н;  $l_2$  – расстояние от оси поворота ковша до его центра масс, м.

Для реализации процесса копания необходимо, чтобы соблюдалось условие [7, 8, 9]

$$M_u + M_k > M_{kp} + M_{mp}^D + M_{cp} + M_a + M_{mp}. \quad (8)$$

Для увеличения объема зачерпываемого грунта без изменения характеристик гидропривода необходимо снижать моменты сил сопротивлений копанью. Наибольший момент силы сопротивления копанью оказывает момент  $M_a$ , так как сила сопротивления  $F_a$  воздействует на наиболь-

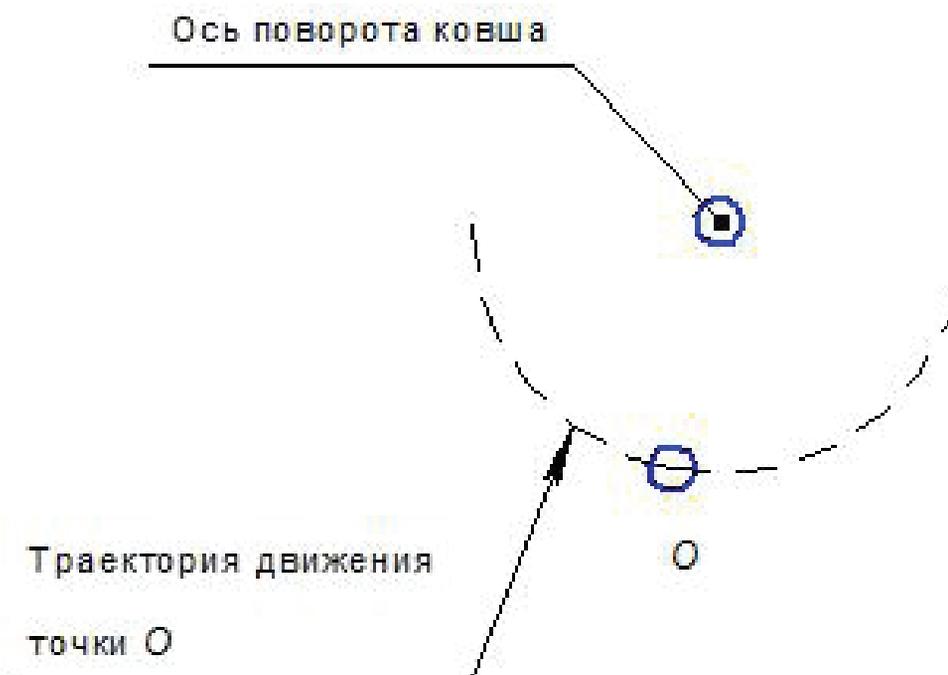


Рисунок 3 – Траектория движения точки O стенки ковша при копании

Figure 3 – Movement trajectory of the O point in a bucket side while digging

шую поверхность ковша длиной AE. Уменьшить или исключить воздействие момента  $M_a$  можно, когда длина AE ковша, на которую воздействует сила  $F_a$ , будет пренебрежительно малой величины. Представим длину AE в виде точки стенки O и рассмотрим траекторию ее перемещения относительно оси поворота ковша (рисунок 3).

Из рисунка 3 видно, что точка O перемещается по окружности вокруг ее центра. Следовательно, если стенка AE, представленная на рисунке 2 ковша в сечении, будет в форме окружности, перемещающейся вокруг своего центра, который совпадает с осью ее поворота, значит, момент сопротивления копанию  $M_a$  отсутствует.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В публикации [10] описан данный способ копания и конструкция ковша одноковшового гидравлического экскаватора. Силы, действующие в процессе копания на ковш такой конструкции, представлены на рисунке 4.

Из схемы, представленной на рисунке 4, видно, что отсутствуют силы  $F_a$  и  $F_D$ , потому

что стенка ковша не совершает перемещение в горизонтальной плоскости. Сила трения зуба о грунт  $F_{тр}^D$  будет отсутствовать, так как нет элемента зуба в конструкции, его функцию выполняет заостренная режущая кромка стенки, которая имеет округлую форму, плавно переходящую в стенку. Процесс копания осуществляется путем поворота стенки относительно оси поворота ковша, совпадающей с креплением ковша к рукояти экскаватора.

Для реализации процесса копания ковшом данной конструкции необходимо выполнение условия [11, 12]

$$M_{\psi} + M_{\kappa} > M_{кр} + M_{ср} + M_{тр}. \quad (9)$$

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В конструкциях грузозахватных органов [10] стенка ковша в сечении выполнена в форме окружности, центр которой является осью ее поворота. Конструкция ковша одноковшового экскаватора «Ковш экскаватора сферический» [13] с рассмотренной схемой нагружения представлена на рисунке 5.

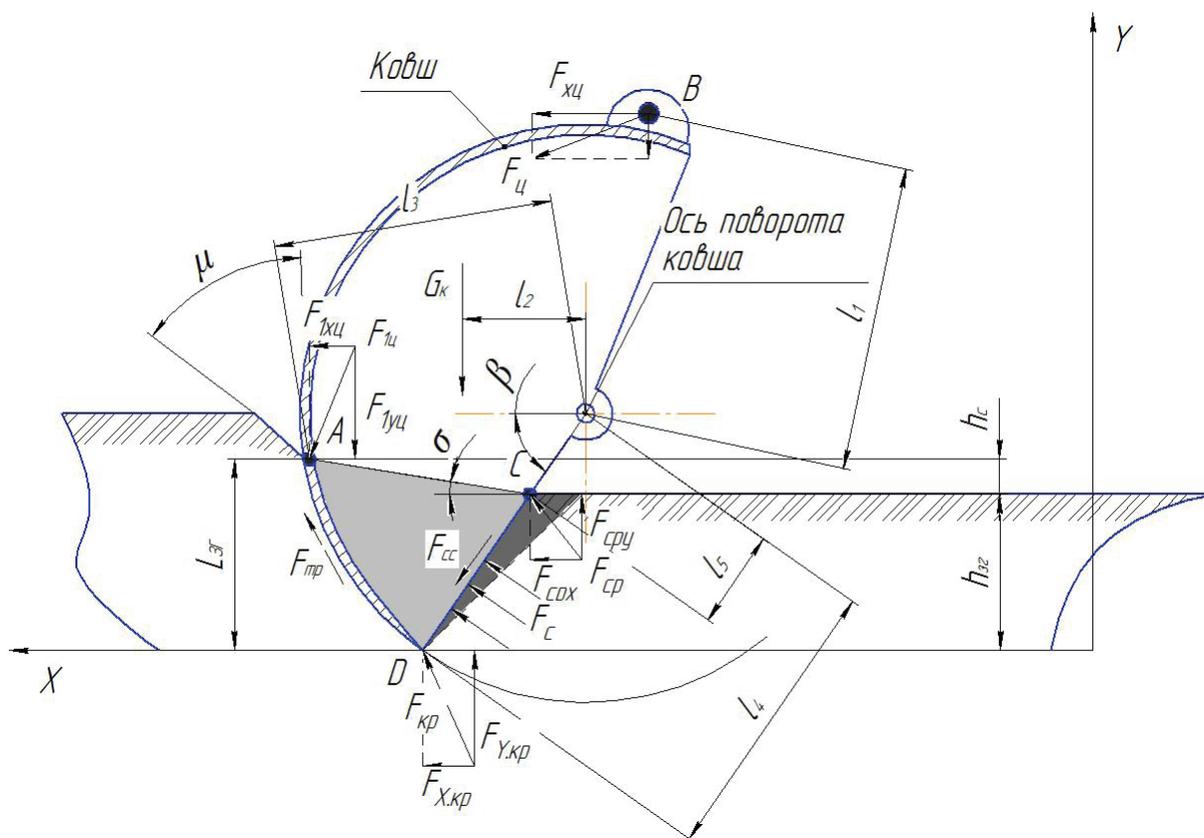


Рисунок 4 – Силы, действующие на ковш предлагаемой конструкции

Figure 4 – Forces functioning on the offered bucket

В конструкции, представленной на рисунке 5, присутствуют следующие элементы: рукоять 1, несущая конструкция 2, кронштейн 3, шаровые шарниры 4 и 6, гидроцилиндр 5, рычаг 7, челюсть 8, пальцы 9, пазы 10 [13].

Работает ковш следующим образом: машинист поворачивает рукоять 1 и опускает открытый ковш на зачерпываемый материал. При этом гидроцилиндр 5 задвинут. Далее выдвигается шток гидроцилиндра 5. Гидроцилиндр 5 поворачивается, так как соединен с кронштейном 3 через шаровой шарнир 4. Гидроцилиндр 5 через шток передает усилие на закрепленный на нем шаровой шарнир 6, который также закреплен на рычаге 7, так усилие передается на рычаг 7, зафиксированный на челюсти

8, и таким способом усилие передается и на челюсть 8. Для перемещения челюсти 8 по нужной траектории на ней закреплены пальцы 9, перемещающиеся по пазам 10 в несущей конструкции 2. Таким образом, челюсть ковша, имея сечение в форме окружности, поворачивающейся вокруг своей оси, воспринимает меньшие значения сил сопротивления копанью. Открытие ковша происходит в обратной последовательности [13].

Также следует более подробно рассмотреть отдельные конструктивные элементы данного ковша. Несущая конструкция 2 и челюсть 8 ковша представлены на рисунке 6, палец 9 показан на рисунке 7 [13].

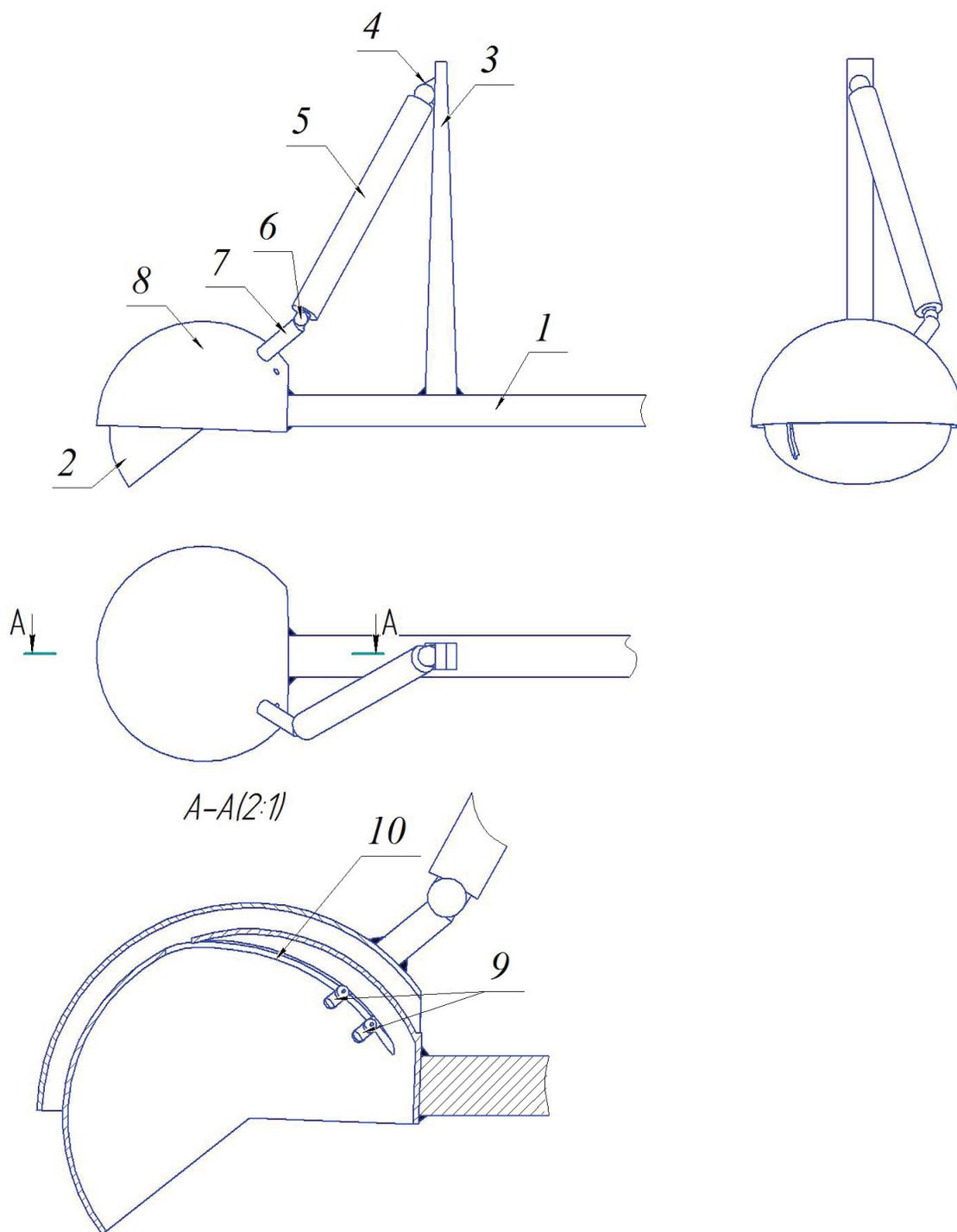


Рисунок 5 – Ковш экскаватора сферический

Figure 5 – Spherical excavator bucket

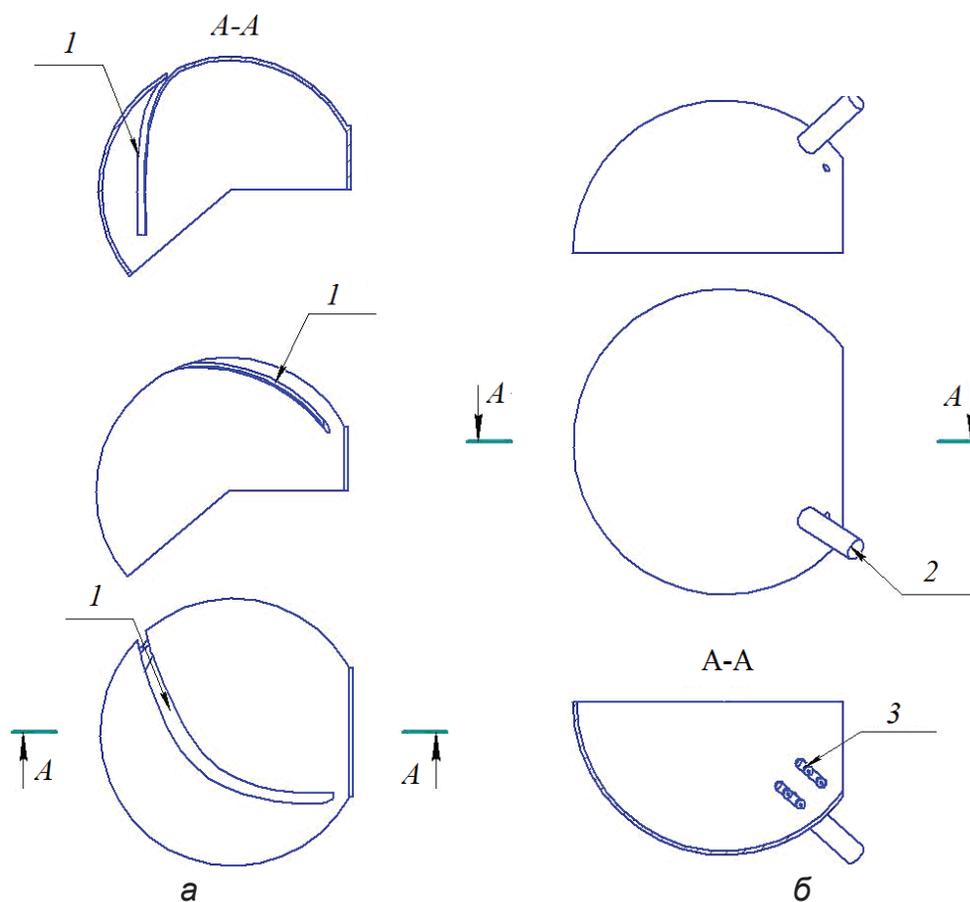


Рисунок 6 – «Ковш экскаватора сферический»:  
а – несущая конструкция; б – челюсть;  
1 – паз; 2 – рычаг; 3 – палец

Figure 6 – Spherical excavator bucket:  
a – bearing structure; b – jaw;  
1 – groove; 2 – lever arm; 3 – pin

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная выше конструкция рабочего оборудования позволяет снизить силы сопротивления копанию. Это дает возможность при более низких характеристиках гидропривода устанавливать на экскаватор ковши прежней вместимости. Следовательно, будет снижена стоимость гидропривода, что позволит сократить расходы на производство одноковшовых гидравлических экскаваторов<sup>4</sup> [14].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sinclair R. Hydraulic Excavators: Quarrying & Mining Applications. London, Sinclair Publishing, 2011. 388 p.
2. Зеленин А.Н., Павлов В.П., Агароник М.Я., Королев А.В., Перлов А.С. Исследование разработки грунта гидравлическими экскаваторами // Строительные и дорожные машины. 1976. № 10. С. 9 – 11.
3. Ананин В.Г. Результаты экспериментальных исследований и моделирования рабочего оборудования одноковшового экскаватора //

<sup>4</sup> Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Исследование энергоэффективных параметров одноковшовых экскаваторов. Омск : СибАДИ, 2015. 210 с.

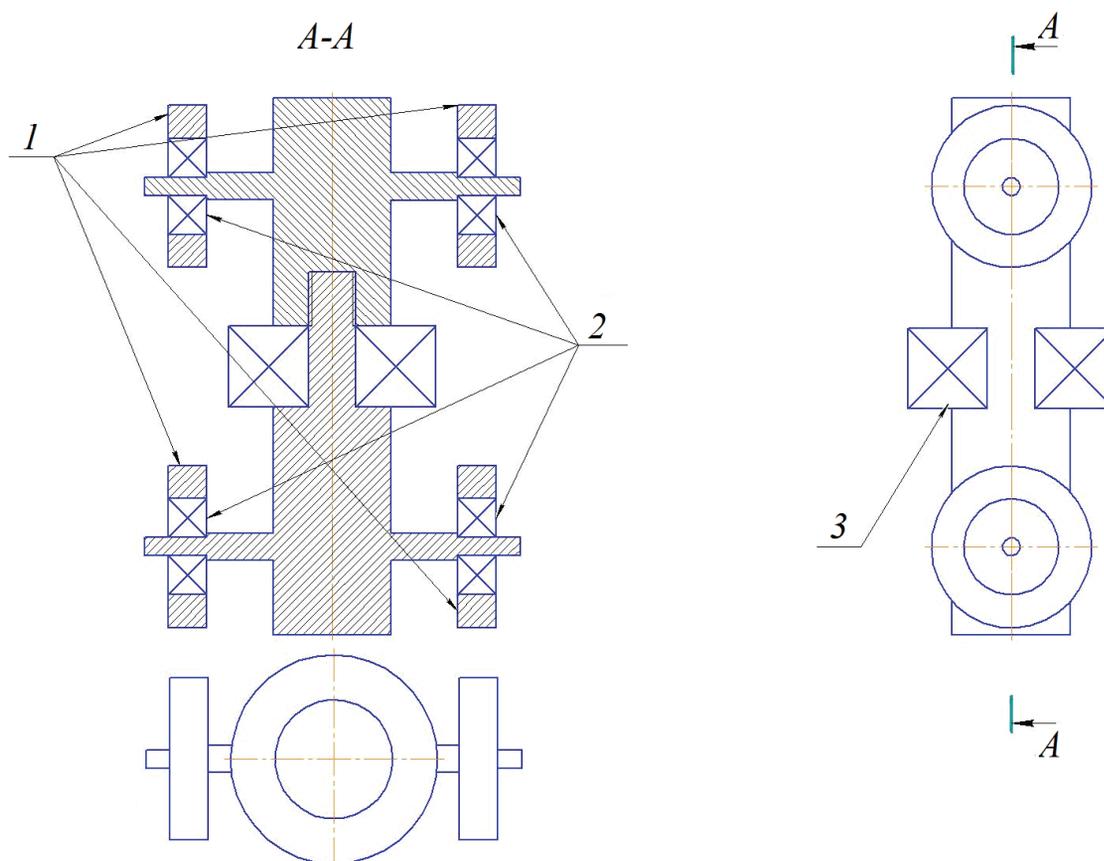


Рисунок 7 – Палец «Ковш экскаватора сферический»:  
1 – колеса для перемещения пальца по поверхности каркаса ковша;  
2 – подшипники перемещения пальца по поверхности каркаса ковша;  
3 – подшипник перемещения пальца по пазу

Figure 7 – Pin of the spherical excavator bucket:  
1 – wheels for pin moving along the surface of the bucket frame;  
2 – bearings for pin moving on the surface of the bucket frame;  
3 – bearing for pin moving in the groove

Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 1 (38). С. 205–213.

4. Иванов Р.А., Федулов А.И. Методика расчета ковша активного действия // Строительные и дорожные машины. 2005. № 10. С. 28–31.

5. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Анализ эффективности работы одноковшового экскаватора // Вестник СибАДИ. 2014. №6. С. 26 – 33.

6. Павлов В.П., Абрамов А.Н. Рекомендации по выбору параметров экскаваторных ковшей // Транспортное строительство. 1984. № 7. С. 35–36.

7. Тарасов В.Н., Коваленко М.В. Механика копания грунтов, основанная на теории предельных касательных напряжений // Строительные и дорожные машины. 2003. № 7. С. 38–43.

8. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Обеспечение энергоэффективности разработки грунта за счет оптимизации углов позиционирования рабочего оборудования экскаватора // Строительные и дорожные машины. 2015. № 3. С. 44–47.

9. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В., Яковлев В.Г. Исследование влияния инерционной нагрузки рабочего оборудования экскаватора на формирование концентраций напряжений

в его элементах // Строительные и дорожные машины. 2015. № 5. С. 52–55.

10. Бурый Г.Г., Потеряев И.К., Скобелев С.Б., Ковалевский В.Ф. Ковш экскаватора сферический // Горное оборудование и электромеханика. 2018. №5. С. 35–41.

11. Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Коваленко М.В. Применение методов аналитической механики при проектировании строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2003. № 1. С. 28 – 30.

12. Тарасов В.Н., Коваленко М.В. Механика копания грунтов ковшом гидравлического экскаватора // Строительные и дорожные машины. 2003. №8. С. 41–45.

13. Бурый Г.Г., Потеряев И.К., Скобелев С.Б., Ковалевский В.Ф. Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора с измененной механикой копания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №11. С. 126–131.

14. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Исследование энергоёмкости экскавационного цикла землеройной машины // Известия высших учебных заведений. Строительство. Вестник НГАСУ (Сибстрин). 2014. № 8 (668). С. 60– 68.

## REFERENCES

1. Sinclair R. Hydraulic Excavators: Quarrying & Mining Applications. London, Sinclair Publishing, 2011. 388 p.

2. Zelenin A.N., Pavlov V.P., Agaronik M.Y., Korolev A.V., Perlov A.S. Isledovanie razrabotki grunta gidravlichesimi excavatorami [Research of development of soil hydraulic excavators]. Construction and road machines, 1976; 10: 9–11 (in Russian).

3. Ananin V.G. Rezultaty eksperimentalnykh isledovaniy I modelirovaniya rabocheho oborudovaniya odnocovshovogo excavatora [Results of pilot studies and modeling of the working equipment of the single-bucket excavator]. Messenger of the Tomsk state architectural and construction university, 2013; 1(38): 205–213 (in Russian).

4. Ivanov R.A., Fedulov A.I. Metodica rascheta covsha aktivnogo dejstviya [Method of bucket calculation of active action]. Construction and road machines, 2005; 10: 28–31 (in Russian).

5. Kuznetsova V.N., Savinkin V.V. Analiz effektivnosti raboty odnocovshovogo excavatora [Analysis of overall performance of the single-bucket excavator]. Vestnik SIBADI, 2014; 6: 26–33 (in Russian).

6. Pavlov V.P., Abramov A.N. Rekomendatsyi po vyboru parametrov excavatornykh covshej [Recommendations about the choice of

parameters of backhoe dippers]. Transport construction, 1984; 7: 35–36 (in Russian).

7. Tarasov V.N., Kovalenko M.V. Mehanika copaniya gruntov osnovanaya na teorii predelnykh napryazhenij [Mechanics of soil digging based on the theory of extreme tangent tension]. Construction and road machines, 2003; 7: 38–43 (in Russian).

8. Kuznetsova V.N., Savinkin V.V. Obespechenie energoefektivnosti razrabotki grunta za schet optimizatsii uglov pozitsionirovaniya rabocheho oborudovaniya excavatora [Ensuring energy efficiency of soil development due to optimization of angles of the working excavator equipment]. Construction and road machines, 2015; 3: 44–47 (in Russian).

9. Kuznetsova V.N., Savinkin V.V., Yakovlev V.G. Isledovanie vliyaniya inertsionoj nagruzki rabocheho oborudovaniya excavatora na formirovanie contsentratsyj napryazhenij v ego elementah [Research of the inertial loading influence of the working equipment of the excavator on concentration tension formation in its elements]. Construction and road machines, 2015; 5: 52–55 (in Russian).

10. Buryj G.G., Poteryaev I.K., Skobelev S.B., Kovalevskij V.F. Covsh excavatora sfericheskij [Bucket of the spherical excavator]. Mountain equipment and electromechanics, 2018; 5: 35–41 (in Russian).

11. Tarasov V.N., Boyarkina I.V., Kovalenko M.V. Primenenie metodov analiticheskoy mehaniki pri proectirovanii stroitelnykh mashyn [Application of the analytical mechanics' methods at construction machines' design]. Construction and road machines, 2003; 1: 28–30 (in Russian).

12. Tarasov V.N., Kovalenko M.V. Mehanika copaniya gruntov covshom gidravlichescogo excavatora [Mechanics of digging of the hydraulic excavator soil bucket]. Construction and road machines, 2003; 8: 41–45 (in Russian).

13. Buryj G.G., Poteryaev I.K., Skobelev S.B., Kovalevskij V.F. Rabochee oborudovanie odnocovshovogo gidravlichescogo excavatora s izmenennoj mehanicoj copaniya [Working equipment of the single-bucket hydraulic excavator with the changed digging mechanics]. The BGTU Bulletin of V.G. Shukhov, 2018; 11: 126–131 (in Russian).

14. Kuznetsova V.N., Savinkin V.V. Isledovanie energoyomkosti exskavatsionogo tsikla zemlerojnoj mashyny [Research of power consumption of an excavation cycle of the digging machine]. News of higher educational institutions. Construction. NGASU bulletin (Sibstrin), 2014; 8(668): 60–68 (in Russian).

*Поступила 11.03.2019, принята к публикации 21.06.2019.*

*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**

*Бурый Григорий Геннадьевич (г. Омск, Россия) – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии», ORCID: 0000-0002-5008-9176, ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: buryy1989@bk.ru).*

*Щербakov Виталий Сергеевич (г. Омск, Россия) – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника», ORCID: 0000-0002-3084-2271, ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sherbakov\_vs@sibadi.org).*

*Скобелев Станислав Борисович (г. Омск, Россия) – канд. техн. наук, доц. кафедры «Технология машиностроения», ORCID: 0000-0002-7978-5941, ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г. Омск, пр. Мира, 11, e-mail: skobelew@rambler.ru).*

*Ковалевский Валерий Федорович (г. Омск, Россия) – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Технология машиностроения», ORCID: 0000-0002-2677-0076, ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г. Омск, пр. Мира, 11, e-mail: skobelew@rambler.ru).*

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Grigoriy G. Buriy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Cars, Structural Materials and Technologies Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID: 0000-0002-5008-9176, (644088, Omsk, 5, Mira Ave, e-mail: buryy1989@bk.ru).*

*Vitaliy S. Scherbakov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID: 0000-0002-3084-2271, (644088, Omsk, 5, Mira Ave, e-mail: sherbakov\_vs@sibadi.org).*

*Stanislav B. Skobelev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Engineering Technology Department, Omsk State Technical University, ORCID: 0000-0002-7978-5941, (644050, Omsk, 11, Mira Ave, e-mail: skobelew@rambler.ru).*

*Valeriy F. Kovalevsky – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor the Engineering Technology Department, Omsk State Technical University, ORCID: 0000-0002-2677-0076, (644050, Omsk, 11, Mira Ave, e-mail: skobelew@rambler.ru).*

#### **ВКЛАД СОАВТОРОВ**

*Бурый Г.Г. Анализ конструкций ковшей однокоршковых гидравлических экскаваторов, разработка новых конструкций рабочих органов однокоршковых гидравлических экскаваторов, описание составляющих и принципов действия оборудования.*

*Щербakov В.С. Проверка статьи, разработка нового способа копания грунта однокоршковым гидравлическим экскаватором.*

*Скобелев С.Б. Исследование схемы сил, действующих на новую конструкцию ковша однокоршкового гидравлического экскаватора, написание введения.*

*Ковалевский В.Ф. Исследование схемы сил, действующих на новую конструкцию ковша однокоршкового гидравлического экскаватора, написание заключения.*

#### **AUTHORS' CONTRIBUTION**

*Grigoriy G. Buriy – analysis of the buckets' designs of single-bucket hydraulic excavators, new designs' development of working bodies of single-bucket hydraulic excavators, description of components and principles of the equipment operation.*

*Vitaliy S. Scherbakov – paper verification, development of the new soil digging way by single-bucket hydraulic excavator.*

*Stanislav B. Skobelev – forces' research operating on a new bucket design of the single-bucket hydraulic excavator, introduction part writing.*

*Valeriy F. Kovalevsky – forces' research operating on a new bucket design of the single-bucket hydraulic excavator, conclusion part writing.*

УДК 67-05

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕХАНИКИ СМЕШИВАНИЯ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ПОВТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

*Н.С. Любимый\**, *А.Д. Змитрович*, *Б.С. Четвериков*, *А.В. Шеховцов*  
ФГБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова»,  
г. Белгород, Россия  
\*nslubim@bk.ru

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В дорожном строительстве с целью экономии ресурсов во многих странах мира используется метод повторного применения сырья. Для повторной переработки асфальтобетона используются такие машины, как рециклеры. Долговечность дорожного покрытия напрямую зависит от качества асфальтобетонной смеси. Очень большую роль в получении однородности вещества, получаемого в процессе производства смеси, играет процесс механического перемешивания. Для понимания процесса и влияния на него необходимо изучить основной механизм и методику перемешивания. Целью работы является получение графической зависимости мощности, затрачиваемой на перемешивание и однородность получаемой смеси, выраженной критерием Рейнольдса, которая позволит выбрать оптимальную конструкцию смесительного органа рециклера.

**Материалы и методы.** Для изучения и описания процесса перемешивания асфальтобетонной смеси необходимо прибегнуть к применению основных законов гидродинамики. А для решения уравнений удобно использовать теорию подобия.

**Результаты.** В описании процесса механического перемешивания смеси асфальтобетона в камере рециклера рассмотрена мощность, потребляемая смесителем и необходимая для получения требуемого качества смеси. Выявлено требуемое число оборотов мешалки для приготовления суспензий и эмульсий с учетом обеспечения энергоэффективности процесса смешения.

**Обсуждение и заключение.** В процессе преобразований основных уравнений гидродинамики выявили основные уравнения механического перемешивания среды, в зависимости от используемой мощности, и построили график зависимости мощности затрачиваемой на перемешивание и критерия Рейнольдса для основных геометрических параметров смесительных органов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** механическое перемешивание, гидродинамика, смесительное оборудование, теория подобия, критерий мощности, асфальтобетон, рециклер.

© Н.С. Любимый, А.Д. Змитрович, Б.С. Четвериков, А.В. Шеховцов



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# MECHANICS OF MIXING OF PARTICLES IN THE PROCESS OF RE-PRODUCTION OF ASPHALT CONCRETE: DEFINITION OF FUNCTIONAL RELATIONS

*N.S. Lyubimyi, A.D. Smitrovich, B.S. Chetverikov, A.V. Shekhovcov*  
*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,*  
*Belgorod, Russia*  
*\*nslubim@bk.ru*

## ABSTRACT

**Introduction.** *In order to save resources, in many countries of the world the raw materials' re-use method is used. Machines such as recyclers are used to recycle asphalt concrete. The durability of the road surface depends on the quality of asphalt concrete mix. The process of mechanical mixing plays a very important role in the substance homogeneity obtained during the mixture production. Therefore, it is necessary to study the basic mechanism and method of mixing.*

**Materials and methods.** *The authors used the basic laws of hydrodynamics and solved the equations of the similarity theory.*

**Results.** *As a result, the authors considered the power by the mixer and the power that was necessary to obtain the desired quality of the mixture. The paper described the required number of revolutions of the stirrer for the preparation of suspensions and emulsions, taking into account the energy efficiency of the mixing process.*

**Discussion and conclusions.** *The authors reveal that the basic equations of mechanical mixing of the medium depend on the power. Moreover, the authors built the graph of the mixing power and the graph of the Reynolds criterion for the main geometric parameters of the mixing organs.*

**KEYWORD:** *mechanical mixing, fluid flow, mixing equipment, theory of similarity, power criterion, asphalt concrete, recycler.*

© N.S. Lyubimyi, A.D. Smitrovich, B.S. Chetverikov, A.V. Shekhovcov



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

## ВВЕДЕНИЕ

В дорожном строительстве при укладке дорожного полотна с целью уменьшения затрат на приобретение асфальтобетонной смеси применяют повторное использование остатков асфальтобетона. Для того чтобы повторно использовать отходы асфальтобетона, применить их в процессе укладки дорожного покрытия, необходимо применить такие высокотехнологичные машины, как рециклер. Зачастую эти машины используются при ремонте дорожного полотна, для переработки отходов асфальтобетона. При вторичной переработке используются куски и крошка дорожного покрытия после предварительного фрезерования с последующим смешиванием с битумом, что позволяет введение дополнительных компонентов в смесь, повышающих прочность и качественные характеристики, хранение переработанной смеси и её доставку. Схема прицепного рециклера (рисунок 1).

При использовании рециклеров необходимо учесть такой немаловажный фактор, как энергоэффективность процесса вторичной переработки асфальтобетона. Для определения оптимальных параметров конструкции смесителя при смешивании вторичного асфальтобетона в смесителе рециклера по критерию минимальных энергетических затрат, при обеспечении требуемого качества смеси. Для этого необходимо построить графическую зависимость критерия мощности, отражающего энергетические затраты на смешение смеси и критерия Рейнольдса, отражающего качество получаемой смеси для различных типов смесительных органов.

В камере рециклера происходит перемешивание смеси асфальтобетона, битума и различных добавочных компонентов с предварительным разогревом. Для поддержания необходимой вязкости смеси применяется постоянный температурный режим. Существуют различные виды смесительного оборудования (рисунок 2).

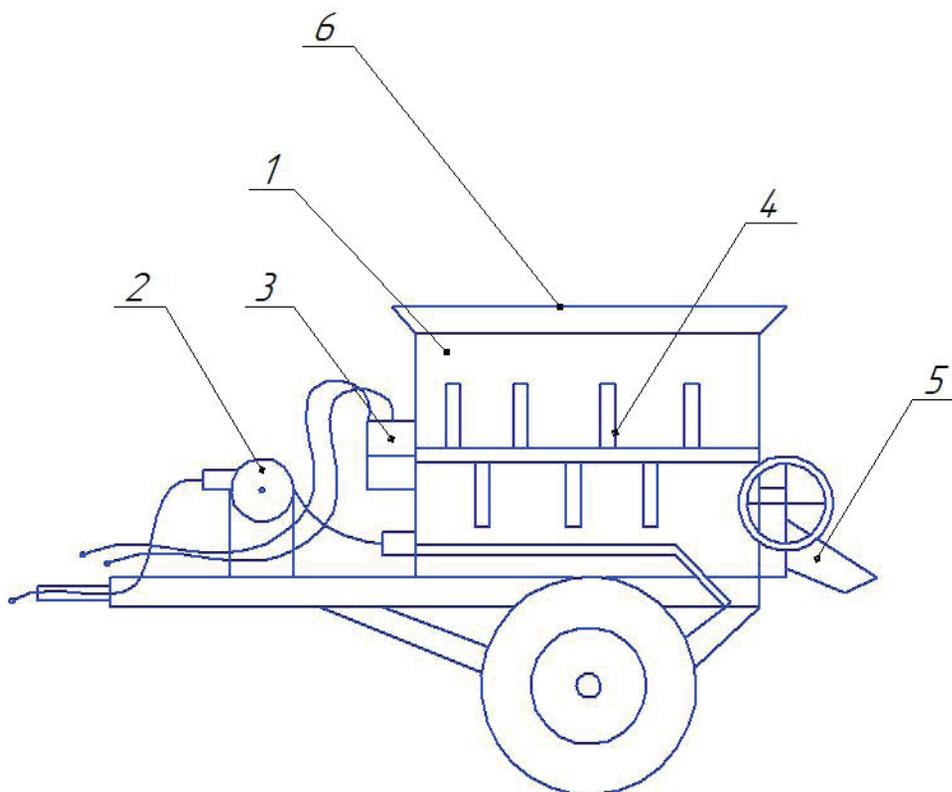
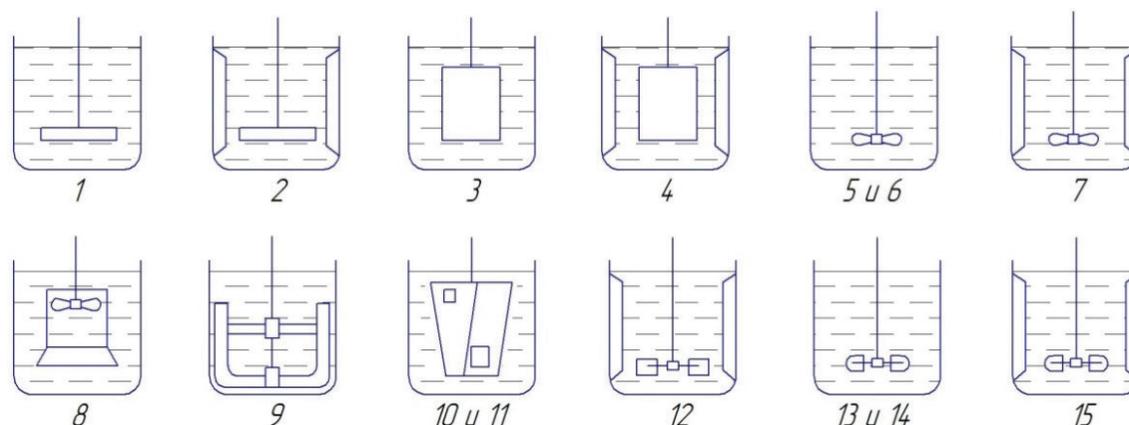


Рисунок 1 – Схема устройства прицепного рециклера:  
1 – бункер нагрева; 2 – горелка для нагрева смеси; 3 – привод смесителя;  
4 – смесительный орган; 5 – разгрузочный бункер; 6 – загрузочный бункер

Figure 1 – Scheme of the trailer recycler:  
1 – heating hopper; 2 – burner for mixture heating; 3 – mixer drive;  
4 – mixing body; 5 – unloading hopper; 6 – loading hopper



*Рисунок 2 – Виды мешалок:*  
1 – лопастная; 2 – лопастная с перегородками; 3 – листовая; 4 – листовая с отражательными перегородками; 5, 6 – пропеллерная; 7 – пропеллерная с перегородками; 8 – пропеллерная с диффузором; 9 – якорная; 10, 11 – турбинная открытая; 12 – турбинная открытая с отражательными перегородками; 13, 14 – турбинная закрытая; 15 – турбинная закрытая с отражательными перегородками

*Figure 2 – Types of agitators:*  
1 – blade; 2 – blade with partitions; 3 – sheet; 4 – sheet with reflective partitions; 5, 6 – propeller; 7 – propeller with partitions; 8 – propeller with diffuser; 9 – anchor; 10, 11 – turbine; 12 – turbine with reflective partitions; 13, 14 – turbine closed; 15 – turbine closed with reflective partitions

Самое большое применение в дорожном строительстве при повторном производстве асфальтобетонной смеси получил механический способ перемешивания частиц среды. Суть этого перемешивания заключается в том, что под воздействием механической энергии смесительный орган приводится в движение, способствуя перемешиванию частиц смеси. Смесительный орган рециклера приводится в движение с помощью электродвигателя, передающего энергию через редуктор и различные виды передач. Основной смысл такого перемешивания заключается в обтекании частицами среды лопастей смесительного органа [1, 2]. При смешивании любой среды, при любом перемешивании, в месте контакта частиц жидкости со смесительным органом образуется слой, который повторяет форму смесительного органа. Если увеличить скорость вращения, то происходит отрыв ламинарного слоя в том месте соприкосновения со смесительным органом, где наибольшая скорость движения частиц<sup>1</sup> [3]. По краям у кромок перемешива-

ющей пластины образуется след обтекания перемешиваемой среды. В месте разрыва ламинарного слоя наблюдается большее сопротивление перемешиванию (рисунок 3).

Угловая скорость напрямую зависит от диаметра смесительной камеры, и чем дальше от центра, тем эта скорость больше. Эта область быстро заполняется перемешиваемым веществом, т.к. в этой зоне понижается давление [4]. При постоянном действии угловой скорости и центробежной силы происходит взаимозаменяемость частиц перемешиваемой среды, то самое перемешивание. Для понимания и анализа процесса смешивания сред удобно применять основное уравнение о неразрывности смешиваемого потока, уравнение Навье-Стокса.

В случае со сложностью протекания процесса перемешивания данное уравнение не всегда можно применить. В таком случае подходит больше основная теория подобия. Ключевым местом в зависимости, являющейся основополагающей в процессе смешивания

<sup>1</sup> Ноздрюхин Д.В., Филатов Н.А., Букатин А.С. Исследование ламинарного течения эмульсии и суспензии при помощи микрофлюидных технологий // Сборник : Неделя науки СПбГУ Материалы научной конференции с международным участием. Лучшие доклады. 2018. С. 155–158.

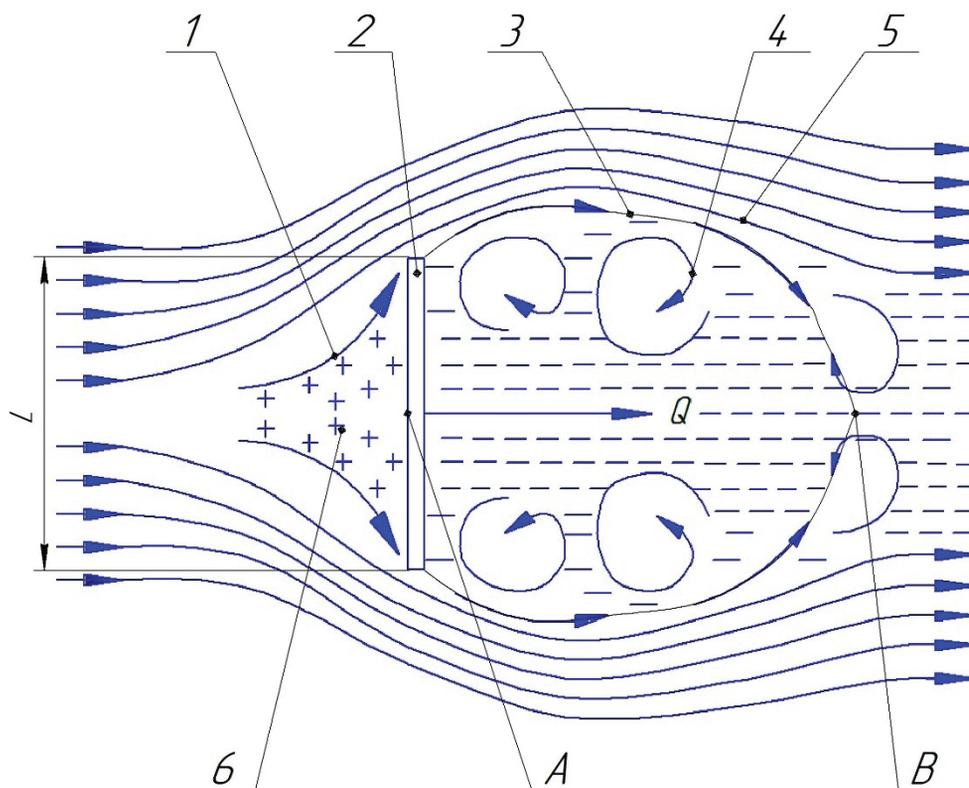


Рисунок 3 – Механизм движения частиц жидкости в процессе перемешивания, при :  
1 – элементарная струйка потока жидкости, набегающей на пластину; 2 – пластина; 3 – граница зоны гидродинамической тени; 4 – вихревые движения в зоне гидродинамической тени; 5 – линии потока за пределами зоны гидродинамической тени; 6 – зона застоя; Q – сила сопротивления потока движению пластины; A, B – точки торможения; L – длина пластины

Figure 3 – Mechanism of the liquid particles' motion during mixing at  $>10$ :  
1 – element stream of fluid flow incident on the plate; 2 – plate; 3 – boundary of the hydrodynamic shadow zone; 4 – vortex movements in the zone of hydrodynamic shadow; 5 – flow lines outside the hydrodynamic shadow zone; 6 – stagnation zone; Q – resistance force of the flow to the plate; A, B – braking points; L – length plate

сред, является мощность, потребляемая в процессе [5]. Опираясь на закон гидродинамики, стоит рассматривать уравнение с присутствием и воздействием на жидкость силы тяжести. Тогда уравнение можно записать следующим видом:

$$Eu = f(Re, F_t, r_1, r_2, \dots). \quad (1)$$

В котором – коэффициенты (симплексы) подобия геометрии движения частиц.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы подробно рассмотреть механизм перемешивания среды, необходимо опереться на критерии Эйлера ( $Eu_M$ ), Рейнорльда ( $Re_M$ ) и Фруда ( $Fr_M$ ) [6]. Чтобы получить нужные нам критерии, вводим вместо понятия усреднен-

ной величины линейной скорости величину  $nd$ , которая является пропорцией от угловой скорости вращения вала  $\omega_{окр}$ , на котором расположен смесительный орган

$$\omega_{окр} = \pi dn, \quad (2)$$

где  $n$  – число оборотов;  
 $d$  – диаметр смесительного органа.

Диаметр смесительного  $d$  органа примем за основной размер, переменную, которую подставим в уравнение и тем самым получим преобразованное выражение критериев основного закона подобия:

$$Re_M = \frac{nd \cdot d\rho}{\mu} = \frac{nd^2\rho}{\mu}, \quad (3)$$

$$Fr_M = \frac{n^2 d^2}{gd} = \frac{n^2 d}{g}, \quad (4)$$

$$Eu_M = \frac{\Delta p}{\rho(nd)^2}. \quad (5)$$

Взяв отдельные участки смешиваемой среды, следует учесть нестабильность давления при отдалении от центра к краю смесительной камеры. При вращении смесителя происходят своего рода перепады давления на всех участках перемешиваемой среды [7]. Для его преодоления к оси мешалки приложена сила  $P$ , напрямую зависящая от мощности смесителя  $N$ . Так, в стандартном выражении одного из критериев следует учесть коэффициент  $\Delta p$ , обозначающий ту самую разность давлений. Можно вывести следующую пропорцию:

$$N = P(nd). \quad (6)$$

Получаем нужную разность

$$\Delta p = \frac{P}{S} = \frac{N}{(nd)S} = \frac{N}{nd^3}, \quad (7)$$

$S = d^3$  – площадь, на которой распределено давление  $P$ .

Подставим полученную разность  $\Delta p$  в уравнение  $Eu_M$ , получаем следующее выражение:

$$Eu_M = \frac{N}{\rho n^3 d^3} = K_N. \quad (8)$$

Если доработать уравнение и вместо  $Eu_M$ , подставлять  $K_N$ , то преобразованное основное уравнение, применяющееся в гидродинамике, будет выглядеть следующим образом:

$$K_N = 1(Re_M, Fr_M, r_1, r_2, \dots) \quad (9)$$

или

$$K_N = A Re_M^m Fr_M^n r_1^p r_2^q, \dots \quad (10)$$

На отдалённой от участка перемешивания жидкости вследствие действия силы тяжести образуются воронки и волны [8]. Но если в камере перемешивания имеются перегородки, гасящие волны, или при смещённом расположении оси вала (эксцентричном), то влияние силы тяжести на процесс перемешивания можно не учитывать (рисунок 2, поз.2).

Тогда из уравнения (10) можно исключить преобразованный ранее критерий Фруда

$$K_N = \varphi(Re_M, r_1, r_2, \dots), \quad (11)$$

который в свою очередь можно преобразовать:

$$K_N = A Re_M^m r_1^p r_2^q, \dots \quad (12)$$

Важно учитывать мощность  $N$ , которую потребляет смеситель в процессе перемешивания. Для её расчёта удобно использовать выведенные нами ранее выражения (9) и (10).

На уравнение влияет коэффициент  $A$ , он принимает различные значения и зависит от особенностей режима смешивания, геометрии и уникальности конструкции смесительного органа, камеры смешивания и самого смесителя [9].

Для наглядного понимания зависимости переменных удобно представить в виде графика, на котором построены кривые зависимости потребляемой при смешивании мощности (критерия)  $K_N$ , от полученного ранее, основного в теории подобия критерия  $Re_M$  с коэффициентами  $r_1, r_2, \dots$ , взяв их в качестве основных параметров.

Если в процессе смешивания учесть и соблюсти режимы перемешивания среды, мощность, подаваемую на смесительный орган, а следовательно и угловую скорость, необходимую для получения нужного нам качества смеси, подачу смешиваемых сред на входе и выходе, то значение  $K_N$  будет изменяться при разности лишь одного критерия  $Re_M$ , а значит можно построить следующую зависимость.

Значения коэффициентов, зависящих от типа смесительного оборудования, указаны в таблице 1. График зависимости  $K_N$  от  $Re_M, K_N = \varphi(Re_M)$  от, (рисунок 4).

Перемешивание как сложный механизм можно выделить двух видов: ламинарный и турбулентный<sup>2</sup>.

При ламинарном перемешивании частиц ( $Re_M < 30$ ), при большой скорости вращения смесителя, перемешивание частиц в среде протекает по следующему сценарию: рабочий орган смесителя увлекает за собой потоки жидкости, но интенсивное перемешивание проходит лишь в слоях вещества, воздействующего с лопастями смесительного органа [10].

<sup>2</sup> Клинков А.С., Соколов М.В., Однолько В.Г., Беляев П.С. Проектирование смесителей периодического действия при получении композитов заданного качества из отходов термопластов. М. : Издательский дом «Спектр», 2012. 196 с.

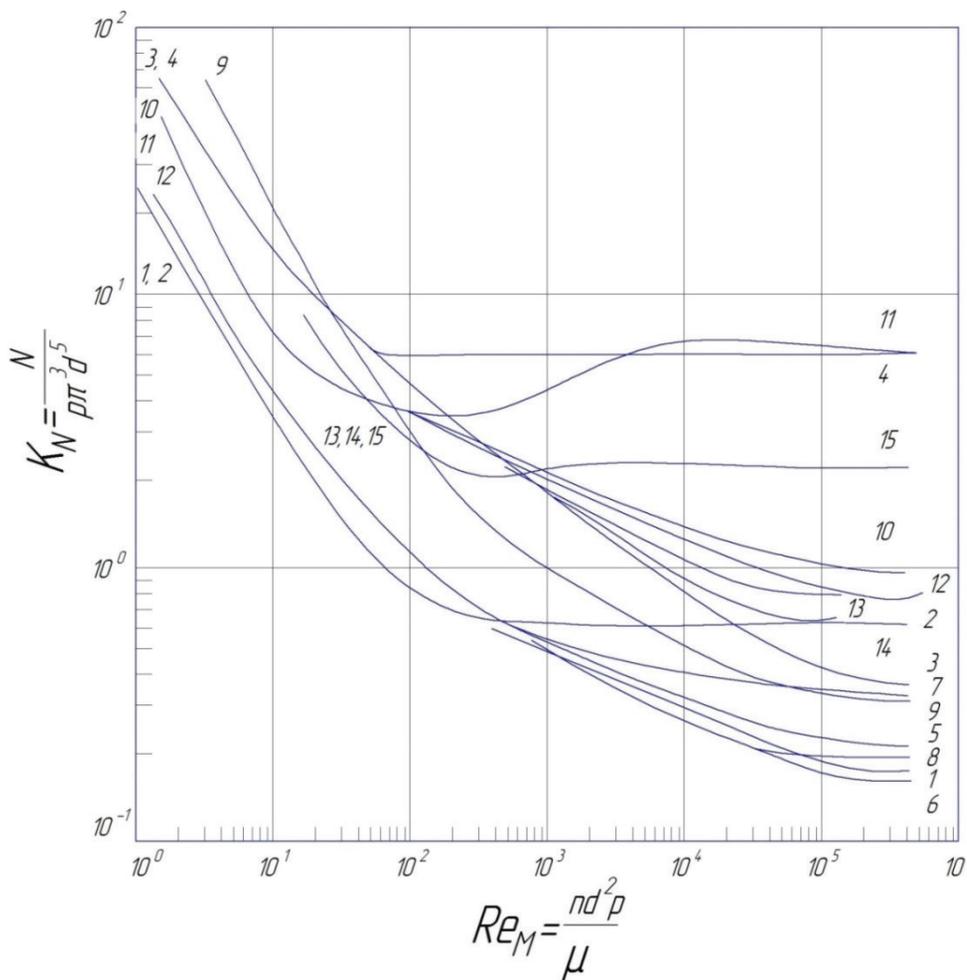


Рисунок 4 – График зависимости критерия мощности от критерия Рейнольдса

Figure 4 – Dependence graph of the power criterion on Reynolds criterion

Возьмём величину площади отражаемых перегородок, установленных внутри камеры, для уменьшения волновых колебаний, таких как диаметр  $0,1 D$ . Перегородок 4 штуки, высоту смеси в камере смешивания примем за  $H = D$ .

Если увеличить частоту вращения смесителя, то сопротивление вращению лопастей смесью увеличивается, что способствует возникновению турбуленции крайнего слоя, примыкающего к кромкам лопасти, и ведёт к образованию турбулентного следа в потоке перемешиваемой среды, образуемого лопастями смесительного органа<sup>3</sup> [11].

Если величина достигает  $Re_M > 10^2$ , то режим смешивания становится турбулентным. В данном же режиме зависимость показателя  $K_N$  от величины  $Re_M$  становится меньшей.

При стабилизации такого режима  $Re_M > 10^5$  зависимость этих двух критериев практически пропадает, и мощность, потребляемая на смешивание, зависит только от силы инерции [12]. Если увеличить частоту вращения, получим большую интенсивность смешивания, но результат остаётся тем же, из-за соображения увеличения затрат можно считать нецелесообразным, ведь результат уже достигнут. Нужно понимать, что учитываемая нами величина

<sup>3</sup> Калиганов А.С., Фомина М.В. Моделирование разгрузки вертикального смесителя // Информационные технологии в экономических и технических задачах. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Пенза. 2016. С.320–323.

Таблица 1  
Значения переменных для различных конструкций смесительного оборудования

Table 1  
Variable values for different mixing equipment structures

№ кривой на рисунке 4	Типы мешалок	Основные размеры смесителей			
				n	
1	Лопастная	0,66	0,1	2	90°
2	Лопастная с перегородками	0,66	0,1	2	90°
3	Листовая	0,5	0,75	2	90°
4	Листовая с перегородками	0,5	0,75	2	90°
5	Пропеллерная	0,25	-	3	40°
6	Пропеллерная	0,33	-	3	40°
7	Пропеллерная с перегородками	0,25–0,33	-	3	40°
8	Пропеллерная с диффузором	0,2–0,33	-	3	40°
9	Якорные и рамные	0,87	0,07	-	90°
10	Турбинная открытая	0,25	0,2	6	90°
11	Турбинная открытая	0,33	0,2	6	90°
12	Турбинная открытая с отражательными перегородками	0,25–0,33	0,2	6	90°
13	Турбинная закрытая	0,25	0,15	6	90°
14	Турбинная закрытая	0,33	0,15	6	90°
15	Турбинная закрытая с отражательными перегородками	0,25–0,33	0,15	6	90°

где d – диаметр смесительного органа;  
D – диаметр смесительной камеры;  
b – ширина лопаток смесителя;  
n – количество лопастей;  
α – угол наклона лопасти.

может изменяться, учитывая особенность конструкции смесителя и смесительного органа, и считается сугубо приближённой.

В процессе смешивания разнородных сред в уравнении, помимо величин  $Re_M$  и  $K_N$ , нужно обратить внимание на величину плотности перемешиваемых веществ, но только если их плотность сильно различна. Если она отличается менее чем на 30%, в уравнении учитывается такая величина, как плотность смеси  $\rho_{см}$ . Эту величину принято определять по принципу аддитивности.

Для того чтобы вывести уравнение и получить величину вязкости смеси  $\mu_{см}$ , важно учесть условия смешивания и вязкость сред [13].

В случае когда в процессе перемешивания двух сред вязкость дисперсной фазы  $\mu_d$  вещества превышает вязкость сплошной фазы  $\mu_c$ , а значение дисперсной фазы имеет вид  $\phi \geq 0,3$ , в уравнение вычисления необходимо до-

бавить величину вязкости  $\mu_{см}$ . Её удобно выразить уравнением

$$\mu_{см} = \frac{\mu_c}{1-\phi} \left[ 1 + \frac{6\phi\mu_d}{\mu_c + \mu_d} \right]. \quad (13)$$

Если  $\mu_d < \mu_c$  и  $\phi \geq 0,3$

$$\mu_{см} = \frac{\mu_c}{1-\phi} \left[ 1 - \frac{1,5\phi\mu_d}{\mu_c + \mu_d} \right]. \quad (14)$$

В том случае когда вязкость перемешиваемых сред неодинакова и значительно различается (более чем в 2 раза), а показатель дисперсности фаз  $\phi \geq 0,4$  и твёрдые частицы вещества в жидкости распределены равномерно, тогда вязкость смешиваемых сред находим из уравнения:

$$\mu_{см} = \mu_c^{1-\phi} \mu_d^{\phi}. \quad (15)$$

Если же показатель вязкости сред различается менее чем в 2 раза, то в выражение подставляется показатель вязкости смеси  $\mu_c$ .

Если диаметр смесительной камеры отличается от уровня смешиваемой жидкости в смесителе, то вводят поправочный коэффициент  $k$ . Его можно вывести из отношения

$$k = \left(\frac{H}{D}\right)^{0,5} \quad (16)$$

В случае если смесительная камера имеет малую шероховатость поверхности, установленные внутри какие-либо измерительные приборы и приспособления, то увеличивается энергия, которую необходимо затратить на перемешивание. Но для гашения волновых колебаний частиц смеси при перемешивании на внутренних стенках смесительной камеры необходимы отражательные перегородки. Все эти приспособления увеличивают затрачиваемую на смешивание мощность [14].

При запуске двигателя возможно увеличение затрачиваемой мощности в зависимости от плотности среды. Эта мощность обычно превышает рабочую примерно в два раза. Такой скачок будет кратковременным, спустя время процесс становится стабильным. Число оборотов зависит от типа двигателя, установленного на смеситель, а следовательно, и от конструкции самого смесителя.

В процессе приготовления взвеси (суспензий) необходимо соблюсти нужный режим смешивания, для которого выбрано такое число оборотов смесительного органа, чтобы удалось равномерно распределить частицы перемешиваемых веществ, получить нужное качество смеси<sup>4</sup>. Для этого нужно, чтобы скорость потока частиц смешиваемых веществ была приближённо равной скорости их осаждения  $\omega_0$ <sup>5,6</sup>. Тогда поток частиц жидкого вещества сможет удерживать в состоянии гравитации частицы твёрдого вещества, тем самым не позволяя им опасть в осадок.

Число оборотов смесителя  $n_0$  находим из уравнения

$$Re_M = \frac{n_0 d^2 p_r}{\mu} = C_1 Ar \left(\frac{d_c}{d}\right)^{0,5} \left(\frac{D}{d}\right)^k, \quad (17)$$

где  $Ar = \left(\frac{gd_c^3}{\nu_c^2}\right) \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_c}\right)$  – критерий Архимеда;  
 $\Delta\rho$  – разность плотностей фаз;  
 $\rho_r$  – плотность сплошной фазы;  
 $\rho_c$  – плотность среды;  
 $d_c$  – диаметр частицы;  
 $\frac{D}{d}$  – отношение диаметра камеры смешивания к диаметру смесительного органа.

Величины, зависящие от типа мешалки, приведены в таблице 2.

Выражение (17) может быть применимо при следующих показателях значений:

$$Re_M = 5 \cdot 10^4 - 1,3 \cdot 10^5; Ar = 2,4 \cdot 10^4 - 4,1 \cdot 10^{11}; \quad (18)$$

$$\frac{d_c}{d} = 2,33 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-2}. \quad (19)$$

В случае образования эмульсий, смешивания жидкостей, взаиморастворимых друг в друге, значение числа оборотов смесителя находим  $n_0$  из уравнения

$$Re_M = \frac{n_0 d^2 p}{\mu} = C_2 Ar^{0,315} \left(\frac{Re_M}{We_M}\right)^{0,185} \left(\frac{D}{d}\right)^l. \quad (20)$$

Здесь  $We_M = \frac{n^2 d^3 p}{\sigma}$  – преобразованный критерий Вебера.

Это обычное выражение критерия  $We$ , но здесь  $l = d$ , и подставляется, заменяя угловую скорость  $\omega_{окр}$ ;

$\sigma$  – межфазное натяжение.

Значение коэффициентов  $C_2$  и  $l$  представлены в таблице 3.

Выражение (20) может быть применимо при следующих показателях значений:

$$Re_M = 5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^5; Ar = 8,9 \cdot 10^3 - 3,4 \cdot 10^{10}; \quad (21)$$

$$\frac{Re_M}{We_M} = 6,15 - 1,18 \cdot 10^2. \quad (22)$$

<sup>4</sup> Язев В.А. Моделирование процесса смешения крошкообразного каучука с наполнителем // Математика и естественные науки. Теория и практика. Межвузовский сборник научных трудов. Ярославский государственный технический университет. 2018. С. 209–213.

<sup>5</sup> Патент на изобретение RUS 536053 опубл. 02.12.1974. Устройство для приготовления суспензий / Счастливец Е.Л., Савельев В.А., Стариков А.С., Чуприков А.Е.

<sup>6</sup> Патент на изобретение DE 2509838. опубл. 20.03.2014. Способ и устройство для производства асфальтобетонной смеси / Аретц Ю., Баркцус К., Гарбер В., Вольбер Ш.

Таблица 2  
Значения переменных, зависящие от типа мешалки

Table 2  
Variable values depending on the stirrer type

Величина			
Турбинная мешалка закрытая	1,5 – 4,0	4,7	1,0
Пропеллерная	1,5 – 5,0	6,6	1,0
Лопастная	1,33 – 1,5	14,8	0,0

Таблица 3  
Величины коэффициентов для разных конструкций смесительных органов

Table 3  
Coefficients' values for different mixing bodies' designs

Значения			
Турбинная закрытая	2 – 4	2,3	0,67
Пропеллерная	2 – 4	2,95	0,67
Лопастная	1,33 – 4	1,47	1,3

Таблица 4  
Значения для разных типов мешалок

Table 4  
Values for different agitators' types

Тип мешалки		
Турбинная закрытого типа	3	46
Листовая	2	20,5
Лопастная	3	96,5
Пропеллерная с диффузором	3	66,2
Пропеллерная	3	96,5
Турбинная открытого типа	3	56
Якорная	1,15	30

Если смешивание протекает в однородной среде, то необходимое число оборотов смесителя находим из зависимости

$$n_0 t = C_r = \text{const}, \quad (23)$$

$n_0$  – число оборотов смесителя;  
 $t$  – время, затрачиваемое на перемешивание, для получения необходимой однородности среды.

Коэффициенты  $C_r$  для разных смесительных органов показаны в таблице 4.

Все эти решения, которые использовались при расчётах основных показателей процесса смешивания: и число оборотов, и затрачиваемая на перемешивание мощность справедливы и точны лишь в случае с вязкими жидкостями, подчиняющимися в своем течении закону вязкого трения Ньютона [15].

Если в процессе участвует неньютоновская жидкость, при таком варианте расчетов получим другие выражения, которые помогут определить основные значения мощности смешения для них.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ**

В работе приведены модель и основы расчета процесса смешивания асфальтобетонной смеси в смесителе рециклера.

В процессе изучения и преобразования основных положений смешивания сред, учитывая теорию подобия, можно считать основными выражениями смешивания веществ, усовершенствованные основные уравнения (13,14).

Учитывая сложность механизма смешивания, процессов, протекающих при взаимодействии и смешивании двух и более сред, необходимо понимать, что процесс сложно анализируемый, соотношение величин получили различные. Это зависит от того, какой из основных параметров взят за основной в процессе моделирования.

Более подробно и глубоко изучена зависимость величин от основного показателя, критерия затраченной при перемешивании мощности, необходимой смесителю для приготовления асфальтобетона.

В случае смешения вторичного асфальтобетона в процессе смешения также участвуют тепловые процессы, оказывающие дополнительное влияние на процесс смешения. Вопросы учета температурного воздействия на процесс смешения асфальтобетона в данной работе не рассматриваются, так как подобные расчеты являются весьма объемными. Тем не менее если процесс перемешивания применим в области энергетики с участием различных тепловых процессов, оказывающих дополнительное влияние на данный процесс, то за основные параметры можно принять температурные величины. В данном процессе массоотдачи необходимо рассматривать основное количество массы и тепла, передаваемой в единице объема смешиваемой среды, подставляя выведенный нами ранее основной критерий мощности.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе исследования механизмов, протекающих в процессе перемешивания сред с одинаковой и разной структурой, при повторном производстве асфальтобетона в смесителе рециклера, опираясь на уравнения основного закона гидродинамики и теорию подобия,

были выведены преобразованные уравнения механики смешивания частиц, по которым удобно найти ключевые переменные, позволяющие выбрать наиболее энергоэффективные режимы смешения.

Принимая за основные параметры полезную мощность, затрачиваемую на перемешивание, и критерий Рейнольдса, являющийся основополагающим в смешивании сред, получили зависимость этих величин. В зависимости от типа и конструкции смесительного органа получили несколько основных значений этих переменных. Построили графическое представление этой зависимости в виде графика.

Полученный график позволяет выбрать оптимальные режимы смешения и конструкцию смесительного органа для получения асфальтобетонной смеси требуемого качества при минимальных энергетических затратах. Это позволит в конечном итоге повысить производительность рециклера и обеспечить заданное качество дорожного полотна из вторичного асфальтобетона.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Елизаров В.В., Елизаров Д.В., Камалиев Т.С. Модель массопереноса в процессах жидкостной экстракции в аппаратах с перемешиванием // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2013. №3. С. 42–44.
2. Балагуров И.А., Мизонов В.Е., Berthiaux H., Gatumel C. Влияние пристеночного эффекта на вибрационное смешивание дисперсных материалов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. №2. С. 58–62.
3. Брутян М.А., Голубкин В.Н., Крапивский П.Л. Об уравнении Бернулли для осесимметричных течений вязкой жидкости // Ученые записки ЦАГИ. 1988. Т. 19. № 2. С. 98–100.
4. Макаров К.А. О физическом смысле числа Рейнольдса и других критериев гидродинамического пособия // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. № 1 (25). С. 12.
5. Мирошниченко К.К. Использование геометрического моделирования при проектировании смесителей телескопической конструкции // Наука та прогрес транспорту. 2015. №4(58). С. 190–197.
6. Титов А.Ю. Конструкционные предпосылки модернизации лопастных смесителей // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. №1(63). С. 77–79.

7. Несмеянов Н.П., Почупайло Б.И., Дмитриенко В.Г., Бражник Ю.В., Матусов М.Г. Методики расчета рациональных параметров рабочих органов смесителей принудительного действия // *Фундаментальные исследования*. 2016. №2–3. С. 503–508.

8. Балагуров И.А., Мизонов В.Е., Berthiaux H., Gatamel C. Влияние пристеночного эффекта на вибрационное смешивание дисперсных материалов // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2015. №2. С. 58–62.

9. Romanovich, A.A., Romanovich, M.A., Belov, A.I., Chekhovskoy, E.I. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. v. 145, pp. 576–581.

10. Юдин К.А. Харин Н.П. Проектирование смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал // *Автоматизированное проектирование в машиностроении*. 2016. №4. С. 66–67.

11. Герасимов М.Д., Воробьев М.Д., Герасимов Д.М. Математическая модель двухступенчатого вибрационного механизма // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2017. № 2. С. 195–201.

12. Демиденко Н.Д., Кулагин В.А., Шокин Ю.И., Ли Ф.-Ч. Теплообмен и суперкавитация: монография. Новосибирск: Изд-во «Наука». 2015. С.436.

13. Парамонова М.С. Общие методы моделирования процессов смешения сыпучих материалов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2018. № 12. С. 582–584.

14. Коновалов В.В., Сарафанкина Е.И., Фомина М.В. К вопросу моделирования конструкции смесителя периодического действия // *Научно-методический электронный журнал концепт*. 2016. №Т.11. 3721–3725.

15. Ворожцов О.В. Гомогенизация вязких жидкостей в резервуарах-отстойниках под воздействием затопленной полуограниченной струи, истекающей из плоского отверстия // *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономические технические науки*. 2014. № 5. С. 135–141.

## REFERENCES

1. Elizarov V.V., Elizarov D.V., Kamaliev T.S. Model' massoperenosa v processah zhidkostnoj ekstrakcii v apparatah s peremeshivaniem [Mass transfer model in processes of liquid extraction in devices with hashing]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah – MMTT*. 2013; 3: 42–44 (in Russian).

2. Balagurov I.A., Mizonov V.E., Berthiaux H., Gatamel C. Vliyanie pristenochного effekta na vibracionnoe smeshivanie dispersnyh materialov [Influence of the wall effect on the vibrational mixing of dispersed materials]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2015; 2: 58–62 (in Russian).

3. Brutyan M.A., Golubkin V.N., Krapivskij P.L. Ob uravnenii Bernulli dlya osesimmetrichnyh techenij vyazkoj zhidkosti [About Bernoulli's equation for axisymmetric currents of viscous liquid]. *Uchenye zapiski CAGI*. 1988; T. 19. 2: 98–100 (in Russian).

4. Makarov K.A. O fizicheskom smysle chisla Rejnol'dsa i drugih kriteriev gidrodinamicheskogo posobiya [About physical sense of Reynolds number and other criteria of the hydrodynamic grant]. *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii*. 2014; 1 (25): 12 (in Russian).

5. Miroshnichenko K.K. Ispol'zovanie geometricheskogo modelirovaniya pri proektirovanii smesitelej teleskopicheskoy konstrukcii [Use of geometric modeling in the design of mixers telescopic design]. *Nauka ta progres transportu*. 2015; 4(58):190–197 (in Russian).

6. Titov A.YU. Konstrukcionnye predposylki modernizacii lopastnyh smesitelej [Structural prerequisites for modernization of paddle mixers]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017; 1(63): 77–79 (in Russian).

7. Nesmeyanov N.P., Pochupajlo B.I., Dmitrienko V.G., Brazhnik YU.V., Matusov M.G. Metodiki rascheta racional'nyh parametrov rabochih organov smesitelej prinuditel'nogo dejstviya [Methods of rational parameters' calculation of the mixer working bodies]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016; 2–3: 503–508 (in Russian).

8. Balagurov I.A., Mizonov V.E., Berthiaux H., Gatamel C. Vliyanie pristenochного effekta na vibracionnoe smeshivanie dispersnyh materialov [Influence of the wall effect on the dispersed materials' vibrational mixing]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2015; 2: 58–62 (in Russian).

9. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Belov, A.I., Chekhovskoy E.I. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018; 145: 576–581.

10. Yudin K.A. Harin N.P. Proektirovanie smesitelya s dvunapravlennym vrashchatel'nym

vozdeystviem na material [Design of the mixer with bi-directional rotational effect on the material]. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii*. 2016; 4: 66–67 (in Russian).

11. Gerasimov M.D., Vorob'ov M.D., Gerasimov D.M. Matematicheskaya model' dvuhstupenchatogo vibracionnogo mekhanizma [Mathematical model of two-stage vibration mechanism]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*. 2017; 2: 195–201 (in Russian).

12. Demidenko N.D., Kulagin V.A., SHokin YU.I., Li F.-CH. Teplomassoobmen i superkavitaciya. Monografiya [Heat and mass transfer and supercavitation. Monograph]. Novosibirsk: Izd-vo «Nauka». 2015: 436 (in Russian).

13. Paramonova M.S. Obshchie metody modelirovaniya processov smesheniya sypuchih materialov [General methods of modeling the processes of the bulk materials]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2018; 12: 582–584 (in Russian).

14. Konovalov V.V., Sarafankina E.I., Fomina M.V. K voprosu modelirovaniya konstrukcii smesitelya periodicheskogo dejstviya [To the question of modeling the design of the mixer periodic action]. *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal koncept*. 2016; T.11: 3721–3725 (in Russian).

15. Vorozhcov O.V. Gomogenizaciya vyazkih zhidkostej v rezervuarah — otstojnikah pod vozdeystviem zatoplennoj poluogranichennoj strui, istekayushchej iz ploskogo otverstiya [Homogenization of viscous liquids in tanks – settlers under the influence of the flooded semi-limited stream expiring from a flat opening]. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomicheskie i tekhnicheskie nauki*. 2014; 5: 135–141 (in Russian).

**Поступила 28.04.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Любимый Николай Сергеевич – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ПТУДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, Костюкова 46, e – mail: nslubim@bk.ru). ORCID ID 0000-0002-6131-3217.*

*Четвериков Борис Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры ПТУДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, Костюкова 46, e – mail: await\_rescue@mail.ru). ORCID ID 0000-0003-1801-6767.*

*Змитрович Андрей Дмитриевич, магистрант кафедры ПТУДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, Костюкова, 46, e – mail: 89205533395w@mail.com). ORCID ID 0000-0003-0120-6142.*

*Шеховцов Андрей Валерьевич, магистрант кафедры ПТУДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, Костюкова, 46, e – mail: vip.shehovcov@mail.ru). ORCID ID 0000-0001-8201-979X.*

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Nikolay S. Lyubimyi – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Lifting Machines, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID ID: 0000-0002-6131-3217 (308012, Belgorod, 46 Kostukova St., e-mail: nslubim@bk.ru).*

*Boris S. Chetverikov – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Lifting Machines, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID ID: 0000-0003-1801-6767308012 (308012, Belgorod, 46 Kostukova St., e-mail: await\_rescue@mail.ru).*

*Andrey D. Smitrovich – Postgraduate student, Department of Lifting Machines, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID ID: 0000-0003-0120-6142 (308012, Belgorod, 46 Kostukova St., e-mail: 89205533395w@mail.com).*

*Andrey V. Shehovcov – Postgraduate student, Department of Lifting Machines, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID ID: 0000-0001-8201-979X 308012 (308012, Belgorod, 46 Kostukova St., e-mail: vip.shehovcov@mail.ru).*

#### ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Любимый Н.С. Произведено исследование и анализ процессов перемешивания сред с одинаковой и различной структурой. Выделены основные математические законы, позволяющие получить преобразованные уравнения механики смешивания частиц.*

*Четвериков Б.С. Выведение преобразованных уравнений механики смешивания частиц из уравнений основного закона гидродинамики и с применением теории подобия, для целей нахождения ключевых переменных, позволяющих найти взаимосвязи между ними.*

*Змитрович А.Д. Анализ и обработка источников литературы. Построение графика зависимости критерия мощности от критерия Рейнольдса .*

*Шеховцов А.В. В зависимости от типа и конструкции смесительного органа произведен расчет ряда основных значений полезной мощности затрачиваемой на перемешивание и критерий Рейнольдса.*

**AUTHORS' CONTRIBUTION**

*Nikolay S. Lyubimyi – research and analysis of mixing with the same and different structures; basic mathematical laws for obtaining transformed equations of the mechanics of particle mixing.*

*Boris S. Chetverikov – derivation of the transformed equations of the mechanics of mixing particles from the equations of the basic hydrodynamics' law and using the theory of similarity for the purpose of finding key variables.*

*Andrey D. Smitrovich – analysis and processing of literature sources; plotting the power criterion versus Reynolds criterion.*

*Andrey V. Shekhovcov – dependence on the type and design of the mixing body; calculation of the basic values' number of the useful power expended on mixing and the Reynolds criterion.*

УДК 625.08

## ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЁТ МОЩНОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОГО РЕЗАНИЯ ГРУНТА

**В.А. Николаев**  
ФГБОУ ВО ЯТУ,  
г. Ярославль, Россия  
nikolaev53@inbox.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Для циклического резания грунта при формировании подстилающего слоя и откосов автодорог нужны роторные рыхлители. Поэтому общей целью исследования является теоретическое обоснование конструктивных и режимных параметров роторного рыхлителя. Теоретическую оценку затрат энергии на разработку грунта обычно проводят синтезным методом. Используя данный метод, проводят ориентировочный расчёт основных конструктивных параметров и мощности на привод роторного рыхлителя.

**Методика исследования.** На основании намеченных путей уменьшения затрат энергии на циклическое резание грунта рабочим органом разработана методика ориентировочного расчёта мощности привода ротора. При этом необходимо было выявить изменения эффективных лобовых сечений рабочего органа в процессе оборота ротора путём измерения длины лобового сечения при пошаговом обороте ротора.

**Результаты.** Определены рациональные параметры рабочего органа циклического резания грунта. Вычислена угловая скорость активного рабочего органа. Выявлен необходимый средний вращающий момент и ориентировочная мощность привода ротора.

**Заключение.** На основе исследования синтезного метода удалось наметить пути уменьшения затрат энергии на циклическое резание грунта рабочим органом, определить многие конструктивные параметры роторного рыхлителя.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** подстилающий слой автодорог, верхний слой грунта, агрегат, роторный рыхлитель, циклическое резание грунта, жатое резания грунта, затраты энергии, синтезный метод, схема сил, вращающий момент, мощность, ориентировочный расчёт.

© В.А. Николаев



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# APPROXIMATE CALCULATION OF THE CIRCULAR SOIL CUTTING CAPACITY

Vladimir A. Nikolayev

Yaroslavl State Technical University,

Yaroslavl, Russia

nikolaev53@inbox.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** Rotary cultivators are necessary for circular soil cutting while forming the underlayment and slopes of highways. Therefore, the objective of the research is a theoretical substantiation of constructive and sensitive parameters for the rotary ripper. The researchers usually use synthesis method to evaluate theoretical evaluation of the energy consumption on the development of soil. The researchers also carry out an indicative calculation of basic design parameters and power drive of rotary ripper.

**Materials and methods.** The author developed a methodology for calculating the indicative rotor power. Moreover, the author detected changes of the effective frontal sections of the working body in the process of the rotor circulation by means of the length measuring of a frontal section.

**Results.** As a result, the author defined rational working parameters of circular cutting ground and calculated the angular velocity of the active working body. Moreover, the author also identified the required average torque and approximate rotor power.

**Discussion and conclusions.** A simple and intuitive method based on accepted formulas of strength of materials, theoretical mechanics and other sciences is required for practical calculations of the working vehicles' bodies. The author finds out that on the basis of the synthesis method the assessing energy expenditure on the development of soil may be defined, the analysis of the interaction with soil working bodies can be made.

**KEYWORDS:** road base, upper soil layer, aggregate, rotary ripper, circular cutting ground, soil pressing, cutting energy costs, synthesis method, scheme forces, torque, power, indicative calculation.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

- 1) намечены пути уменьшения затрат энергии на циклическое резание грунта;
- 2) определены рациональные параметры рабочего органа;
- 3) вычислена угловая скорость активного рабочего органа;
- 4) выявлен необходимый средний вращающий момент и ориентировочная мощность привода ротора.

© Vladimir A. Nikolayev



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

**ВВЕДЕНИЕ**

Ввиду большой пространственной разобщённости объектов Российской Федерации проблема быстрого, качественного и дешёвого строительства автодорог очень актуальна. В связи с природно-климатическими условиями строительство дорог ограничено жёсткими временными сроками, за исключением степных областей России. При возведении дорог доля затрат на формирование подстилающего слоя в общих расходах на строительство очень велика. Во-первых, это обусловлено преимущественно холмистым рельефом местности, во-вторых, отсутствием агрегата формирования подстилающего слоя автодорог.

Подстилающий слой обычно формируют, используя имеющийся грунт и грунт из ближайших карьеров. Прежде чем сформировать подстилающий слой нужного профиля следует удалить почву, то есть верхний слой грунта, насыщенный органическими остатками. Для его удаления используют бульдозеры, экскаваторы, скреперы и другие циклические технические средства общего назначения. При их использовании происходит смещение почвы с грунтом, предназначенным для создания подстилающего слоя, что снижает качество автодороги. Органические остатки, содержащиеся в почве и остающиеся в подстилающем слое, с течением времени разлагаются. В местах их разложения дорога оседает, становится неровной, образуются выбоины. Чтобы уменьшить этот недостаток, удаляют с полосы отвода дороги не только почву, но и часть грунта под ней, что существенно увеличивает затраты на строительство. При этом почва с полосы отвода дороги как ценнейший продукт многолетней деятельности природных факторов обычно пропадает, не используется в сельском хозяйстве.

Чтобы автодорога была долговечной при минимально необходимых затратах на её строительство, следует тщательно удалить почву, не затрагивая расположенный под ней грунт. Проблема удешевления строительства авто-

дорог без снижения их качества может быть решена путём создания агрегата формирования подстилающего слоя непрерывного действия, который должен содержать несколько устройств. Важным устройством агрегата является рыхлитель, совершающий циклическое резание почвы, разрушающий её целостность для последующего удаления с полосы отвода автодороги и использования в сельском хозяйстве. Данный рыхлитель можно использовать не только для разрушения слоя почвы, но и для разрыхления грунта с целью формирования откосов дороги.

Циклическое резание грунта бывает пассивным и активным, когда используют фрезу с приводом от вала отбора мощности энергетического средства. Активное резание грунта фрезами пока не получило большого распространения в связи большими затратами энергии в сравнении с пассивным резанием. Однако при формировании подстилающего слоя и откосов автодорог предпочтительным является разрыхление грунта путём его циклического резания активными рабочими органами. Резание грунта при формировании подстилающего слоя и откосов автодорог имеет специфику, связанную с армированностью поверхностного слоя корнями. Поэтому сельскохозяйственные фрезы, применяемые для обработки старопахотной почвы, непригодны для резания грунта, насыщенного корнями. Для циклического резания грунта при формировании подстилающего слоя и откосов автодорог нужны роторные рыхлители, с одной стороны, надёжные, с другой стороны, с умеренными затратами энергии. Поэтому общей целью исследования является теоретическое обоснование конструктивных и режимных параметров роторного рыхлителя для формирования подстилающего слоя и откосов автодорог. В рамках общей цели необходимо провести теоретическое исследование циклического блокированного резания грунта.

Для расчёта параметров резания, теоретической оценки затрат энергии на разработку грунта или обработку почвы синтезным мето-

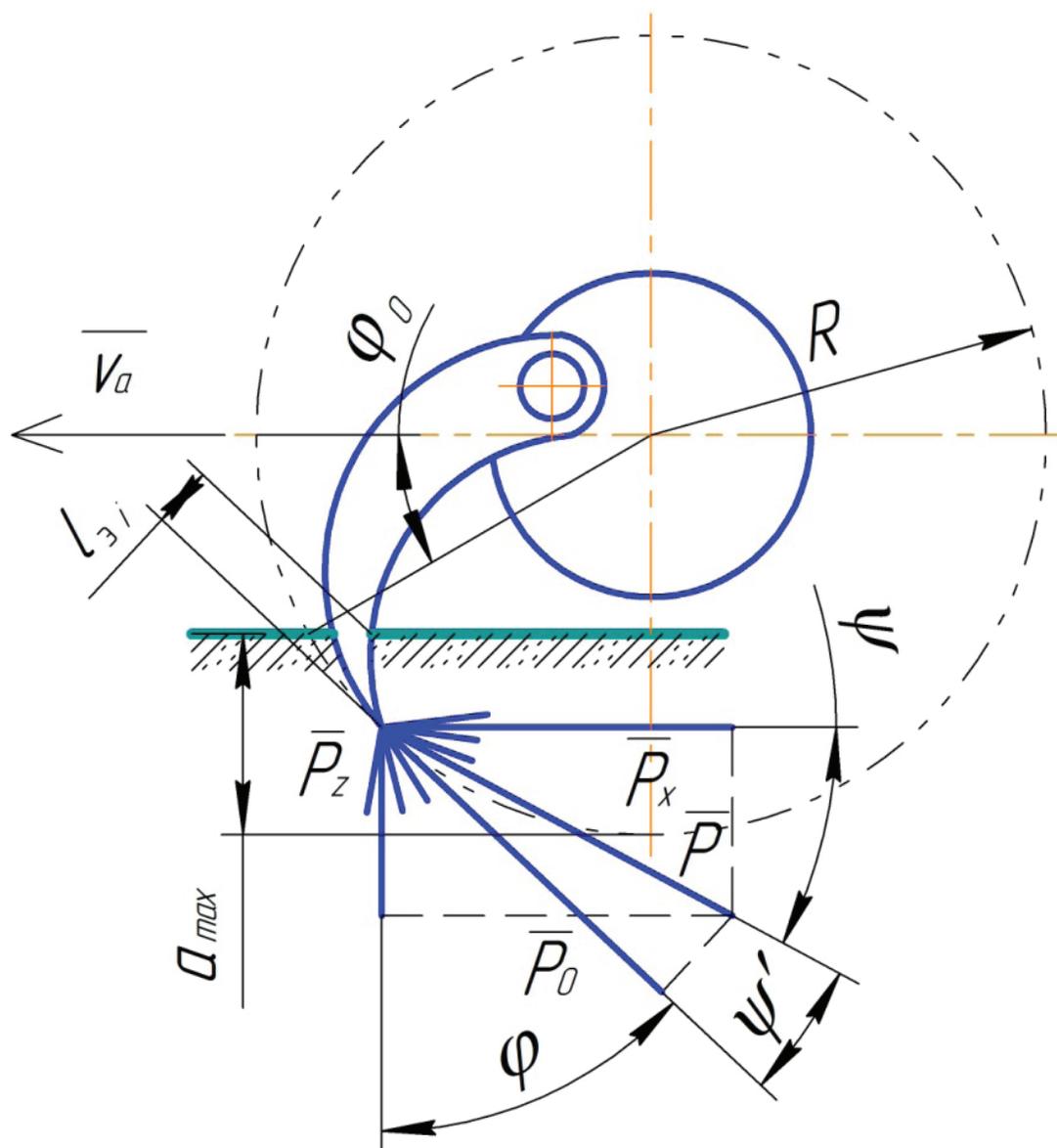


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на активный рабочий орган при циклическом резании грунта или почвы:  
 $P$  – сила сопротивления,  $R_x$  – её горизонтальная составляющая,  
 $R_z$  – её вертикальная составляющая,  
 $P_0$  – проекция силы сопротивления на касательную к траектории носка рабочего органа;  
 $a_{max}$  – глубина резания;  
 $l_{эi}$  – длина эффективного сечения грунта или почвы, срезаемой активным рабочим органом;  
 $\varphi$  – угол отклонения носка активного рабочего органа от горизонтали,  
 в частности в момент входа его в грунт или почву  $\varphi_0$ ;  
 $\psi'$  – угол отклонения проекции силы сопротивления грунта или почвы на касательную  
 к траектории носка активного рабочего органа в данной точке  
 от вектора силы сопротивления грунта или почвы;  
 $v_a$  – скорость агрегата

Figure 1 – Scheme of forces operating on active working body at cyclic soil cutting:  
 $P$  – force of resistance,  
 $R_x$  – horizontal component,  $R_z$  – vertical component,  
 $P_0$  – resistance force projection to the trajectory of working body;  
 $a_{max}$  – cutting depth;  $l_{эi}$  – length of effective section of soil which is cut off by active working body;  
 $\varphi$  – corner of a deviation of active working body from a horizontal, in particular, at the time of its entrance to soil  $\varphi_0$ ;  
 $\psi'$  – corner of the projection deviation of the soil resistance force on a tangent to a trajectory  
 of active working body from a vector of resistance force of soil;  
 $v_a$  – unit speed

дом<sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13</sup> [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] обычно применяют весьма общую схему, показанную на рисунке 1<sup>14</sup>.

Активный рабочий орган, совершая вращательное движение с внешним радиусом  $r$ , производит воздействие на глубину  $z$ . При этом на его носок действует сила сопротивления грунта. Вектор силы сопротивления грунта можно разложить на горизонтальную и вертикальную составляющие. Проекция силы сопротивления грунта, на касательную к траектории носка рабочего органа, отклонена от вектора силы сопротивления грунта на некоторый угол  $\alpha$ . Если условно всю силу сопротивления грунта, действующую на активный рабочий орган, сосредоточить на его носке, момент, необходимый для преодоления сопротивления и трения о грунт, в первом приближении составит

$$M = \int_0^{P_{\max}} R dP_0, \text{ или}$$

$$M = nR\sigma_{\text{сж}}^g \int_0^{S_{\max}} dS = R\sigma_{\text{сж}}^g b \int_0^{a_{\max}} dl_{zi}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество активных рабочих органов, одновременно находящихся в грунте;  $\sigma_{\text{сж}}^g$  – предел прочности грунта на сжатие;  $S$  – площадь эффективного лобового сечения грунта, перпендикулярного к касательной к носку активного рабочего органа;  $b$  – ширина активного рабочего органа;  $l_{zi}$  – длина эффективного сечения грунта, срезаемого активным

рабочим органом. Для определения длины эффективного сечения грунта проводят касательную к носку активного рабочего органа в его заданном положении. Параллельно касательной проводят луч из точки касания грунта передней поверхностью активного рабочего органа. Расстояние между касательной и лучом будет являться длиной эффективного сечения грунта (см. рисунок 1). Умножив длину эффективного сечения грунта на ширину активного рабочего органа получим площадь эффективного лобового сечения грунта. Из рисунка 1 можно также определить боковую площадь активного рабочего органа, погружённого в грунт.

Формула справедлива тогда, когда рабочие органы расположены на роторе линейно. Если они расположены в любом другом порядке, то формула имеет вид

$$M = \sum_{i=1}^n R\sigma_{\text{сж}}^g b \int_0^{a_{\max}} dl_{zi}. \quad (2)$$

В практических расчётах инерцией ротора пренебрегают<sup>15</sup>, поскольку она оказывает большое влияние только в моменты ускорения, остановки и влияет на плавность хода. Пользуясь синтезным методом оценки затрат энергии на разработку грунта, проведём ориентировочный расчёт основных конструктивных параметров и мощности на привод роторного рыхлителя.

<sup>1</sup> Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. М.: «Высшая школа», 1976. 328 с.

<sup>2</sup> Колесников Ю.В., Морозов Е.М. Механика контактного разрушения. М.: Изд. ЛКИ, 2013. 224 с.

<sup>3</sup> Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. М.: Машиностроение, 1975. 424 с.

<sup>4</sup> Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. М.: Изд. литературы по строительству, 1971. 366 с.

<sup>5</sup> Зыков Б.И. Теория рабочих процессов строительных машин. Ярославль: Изд. ЯГТУ, 2003. 114 с.

<sup>6</sup> Ветров Ю.А. Разрушение прочных грунтов. Киев: Изд. «Будивельник», 1973. 350 с.

<sup>7</sup> Бьюи Х.Д. Механика разрушения: обратные задачи и решения (пер. с английского). М.: Изд. ФИЗМАТЛИТ, 2011. 412 с.

<sup>8</sup> Партон В.З. Механика разрушения. От теории к практике (пер. с английского). М.: Изд. ЛКИ, 2016. 240 с.

<sup>9</sup> Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. М.: Машиностроение, 1971. 357 с.

<sup>10</sup> Канарев Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. М.: Машиностроение, 1983. 143 с.

<sup>11</sup> Синекоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.

<sup>12</sup> Попов Г.Ф. Рабочие органы фрез. М.: Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 27. ОНТИ ВИСХОМ, 1970. С. 490–497.

<sup>13</sup> Баловнев В.И. Моделирование и прогнозирование процессов взаимодействия машин с многофазными средами: взаимодействие рабочих органов строительных, дорожных и коммунальных машин с грунтом и другими материалами. М.: МАДИ, 2000. 61 с.

<sup>14</sup> Синекоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. 326 с.

<sup>15</sup> Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. М.: «Высшая школа», 1976. 328 с.

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исходя из формулы (2), наметим пути уменьшения затрат энергии на циклическое резание грунта рабочим органом<sup>16</sup> [16]:

- применение нешироких плоских рабочих органов долотообразной формы;
- рациональное размещение оптимального количества долот на роторе;
- замена деформации смятия менее энергоёмкой деформацией путём применения рациональной формы долот, наименее возможной их окружной скорости;
- ограничение глубины разработки грунта, уменьшение радиуса ротора.

На основании намеченных путей уменьшения затрат энергии на разработку грунта рассмотрим возможность улучшения параметров активных рабочих органов. Так, отсутствие крепежа для закрепления активных рабочих органов даёт возможность уменьшить диаметр ротора. Вал ротора при работе должен катиться по грунту. В связи с принятой схемой крепления долото является двуединым, то есть содержит два активных рабочих органа. Применение долот сводит к минимуму затраты энергии на разрыв корней растений, подъём грунта над уровнем земли, придание ей кинетической энергии и энергии на преодоление сопротивления воздуха. Учитывая планируемую малую угловую скорость ротора, затраты энергии на подъём грунта над уровнем земли, придание ей кинетической энергии и энергии на преодоление сопротивления воздуха можно в расчёте не принимать во внимание.

Расстояние от центра вала до носка активного рабочего органа

$$R = \frac{d_g}{2} + a_p, \quad (3)$$

где  $d_g$  – наружный диаметр трубчатого вала ротора, с защитным кольцом;  $a_p$  – глубина разработки грунта ротором.

Соотношение окружной скорости  $v$  носка активного рабочего органа и скорости  $v_a$  агрегата называют кинематическим параметром<sup>17</sup>:

$$\lambda = \frac{v}{v_a}. \quad (4)$$

Угловая скорость вала ротора

$$\omega_p = \frac{v}{R}, \quad (5)$$

где  $v$  – окружная скорость носка активного рабочего органа. Из рисунка 1

$$v = \frac{v_a}{\sin \varphi_0}. \quad (6)$$

Допустим, что горизонтальная составляющая окружной скорости носка активного рабочего органа равна скорости агрегата, . Тогда

$$\omega_p = \frac{v_a}{R \sin \varphi_0}. \quad (7)$$

Профиль передних граней, взаимное расположение активных рабочих органов и соотношение поступательной скорости агрегата и окружной скорости носков активных рабочих органов должны быть такими, чтобы перемещение грунта у носков происходило по передней грани, у основания активных рабочих органов – в сторону прохода смежного активного рабочего органа.

Заднюю поверхность получим построением из условия недопустимости заклинивания рабочего органа. В результате построений определим: угол заточки  $i$  носка  $A$  активного рабочего органа, минимальный передний угол  $\alpha_{\min}$  у носка долота, задний угол  $\varepsilon$  и максимальный передний угол  $\alpha_{\max}$  у основания долота. У основания  $BC$  должно выполняться условие незащемления грунта между валом и передней поверхностью рабочего органа:

$$90^\circ - \alpha_{\max} < \varphi_{c-\varepsilon}, \quad (8)$$

где  $\varphi_{c-\varepsilon}$  – коэффициент трения грунта о сталь,  $\varphi_{c-\varepsilon} \approx 26^\circ$ .

Для ориентировочного расчёта сил сопротивления грунта и необходимого вращающего момента, руководствуясь формулой 2, следует выявить изменения эффективных лобовых сечений  $S_i$  в процессе оборота ротора (рисунок 2). Выявим также изменение боковых площадей  $S_{bi}$  активных рабочих органов, погружённых в грунт. Примем шаг поворота вала ротора  $11,25^\circ$ .

<sup>16</sup> Николаев В.А. Машины для обработки почвы. Теория и расчёт. Ярославль : Изд-во ФГБОУ ВПО ЯГСХА, 2014. 358 с.

<sup>17</sup> Партон В.3. Механика разрушения. От теории к практике (пер. с английского). М. : Изд. ЛКИ, 2016. 240 с.

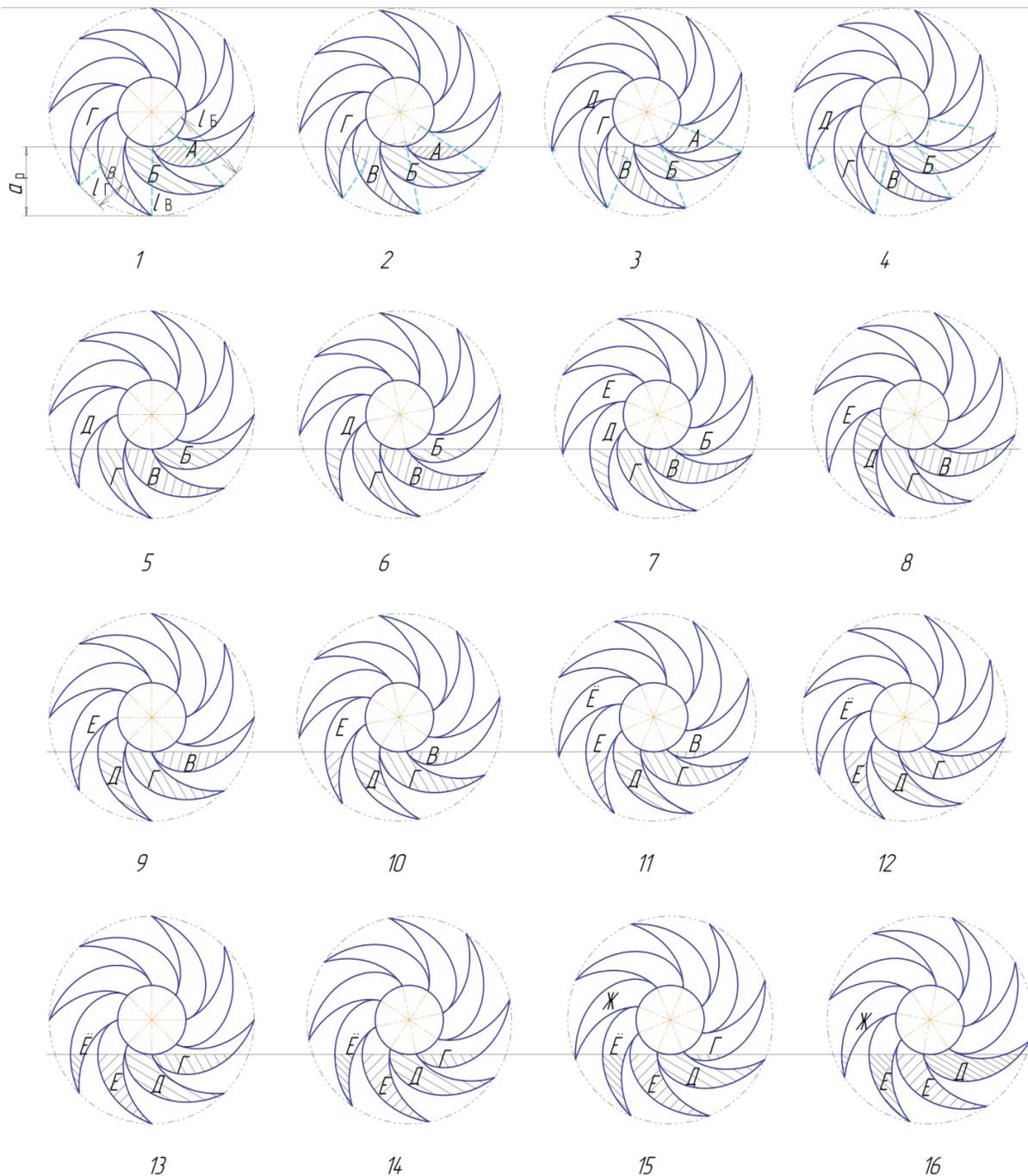


Рисунок 2 – Схема погружения активных рабочих органов в грунт

Figure 2 – Scheme of the active working bodies' immersion to the soil

Эффективное лобовое сечение  $S_i$  активного рабочего органа равно произведению его ширины  $b$  на длину эффективного сечения грунта, срезаемого активным рабочим органом,  $l_{zi}$  (см. рисунок 2, поз. 1)

$$S_i = bl_{zi}. \quad (9)$$

Общая площадь эффективных лобовых сечений

$$S_3 = b \sum l_{zi}. \quad (10)$$

По полученным данным (таблица 1) определим изменение суммарной силы сопротивления грунта вращению ротора (таблица 2) и

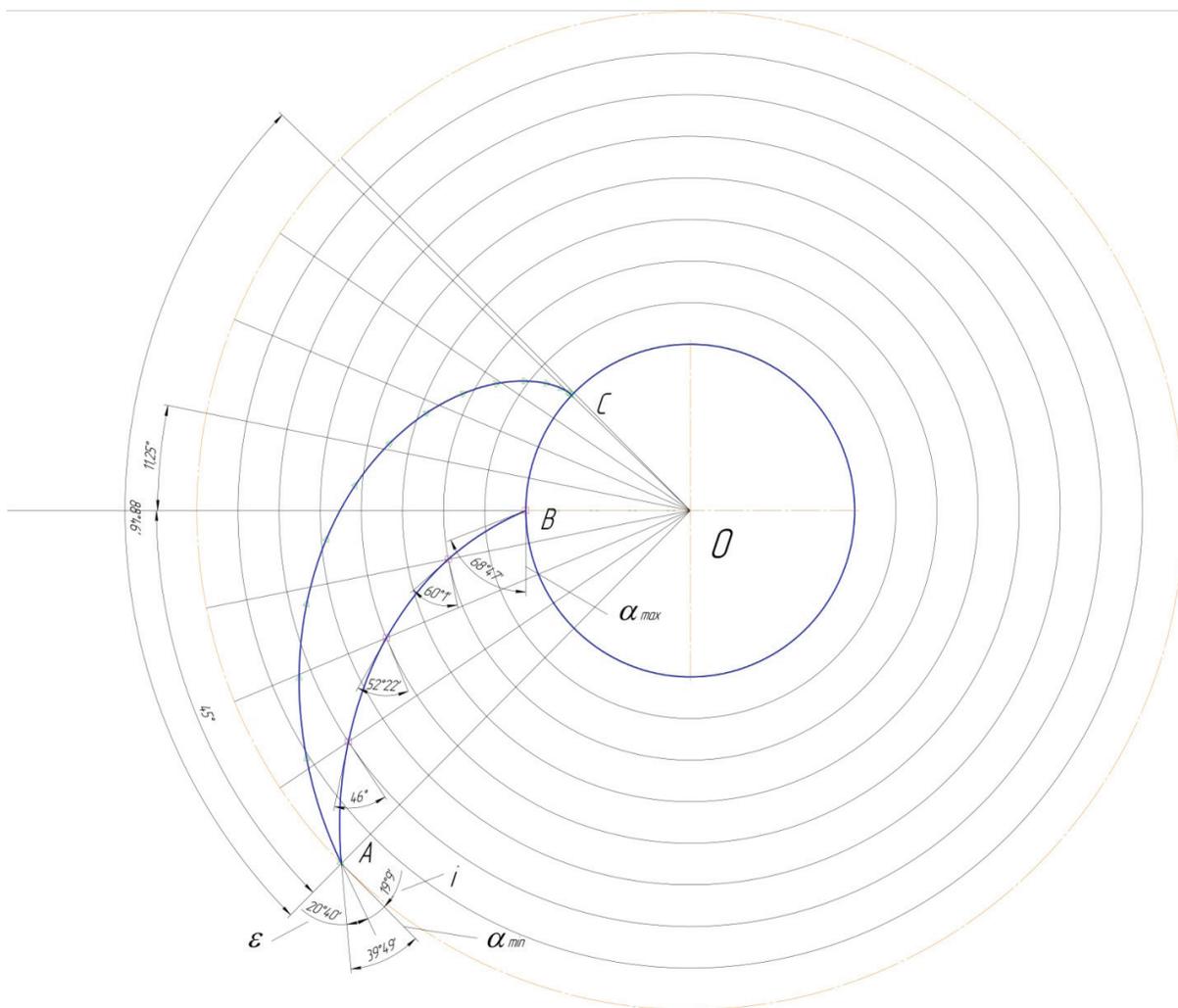


Рисунок 3 – Профиль активного рабочего органа

Figure 3 – Active working body profile

изменение необходимого вращающего момента, необходимый средний вращающий момент  $T_{ср}$  для привода ротора. Ориентировочную мощность привода ротора рассчитаем по формуле

$$N = T_{ср} \omega_p, \quad (11)$$

где  $\omega_p$  – угловая скорость ротора.

Вычисленные параметры ротора можно применять для ориентировочного расчёта роторного рыхлителя. Для её точного расчёта необходимо рассмотреть более тщательно резание грунта активным рабочим органом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Из возможных вариантов развёртывания передней поверхности активного рабочего органа целесообразно выбрать спираль Архимеда с соотношением  $\rho = 200\varphi$ <sup>18</sup> [16]. Это соотношение соответствует задаче обеспечения надёжности при достаточной прочности активного рабочего органа.

На рисунке 3 показан профиль активного рабочего органа. Частица грунта от воздействия активного рабочего органа будет сначала перемещаться по его передней поверхности от носка к основанию, а у основания сместится с передней поверхности активного рабочего органа в сторону.

<sup>18</sup> Николаев В.А. Машины для обработки почвы. Теория и расчёт. Ярославль : Изд-во ФГБОУ ВПО ЯГСХА, 2014. 358 с.

Долото представляет двухконсольную балку, установленную в трубчатом вале. Критическое сечение активного рабочего органа расположено у его основания  $BC$ . Толщина долота должна быть достаточной для обеспечения его прочности. Долото работает на изгиб, но частично сопротивление грунта создаст радиальное давление на вал. Глубина разработки грунта должна быть минимально необходимой для экономии энергии и соблюдения прочности рабочих органов. Так как глубина почвенного горизонта необработанных участков обычно от 150 до 200 мм, примем для расчёта  $a_p = 160$  мм. Если необходима разработка грунта на большую глубину, можно использовать сменные рабочие органы. Учитывая, что у сталей среднее соотношение допускаемых напряжений смятия и изгиба  $[\sigma_{см}] \approx 1,3[\sigma_{и}]$ , получаем толщину долота  $b = 12$  мм на рабочем участке,  $b_e$  на участке внутри вала, наружный  $d_e = 160$  мм и внутренний диаметр вала. Лобовой профиль активного рабочего

органа незаострённый. Носок и кромки лобовых граней активного рабочего органа следует выполнять с износостойким покрытием. Рабочие органы в роторе относительно друг друга развернем по спирали. Руководствуясь этими ограничениями, примем угол развёртывания между соседними долотами по спирали  $\beta = 45^\circ$  (рисунок 4). Отсюда количество долот в одном обороте спирали 8.

Расстояние от центра вала до носка активного рабочего органа формула (3)  $R = 240$  мм. Расстояние между смежными долотами связано также с углом их развёртывания по спирали на вале. Минимальное расстояние между смежными долотами ограничено конструктивными параметрами держателей долот, сваренных внутри вала, прочностными требованиями к валу и мощностью, потребляемой рыхлителем. Максимальное расстояние между ними должно быть таким, чтобы была качественная разработка грунта. Исходя из этих условий получим расстояние

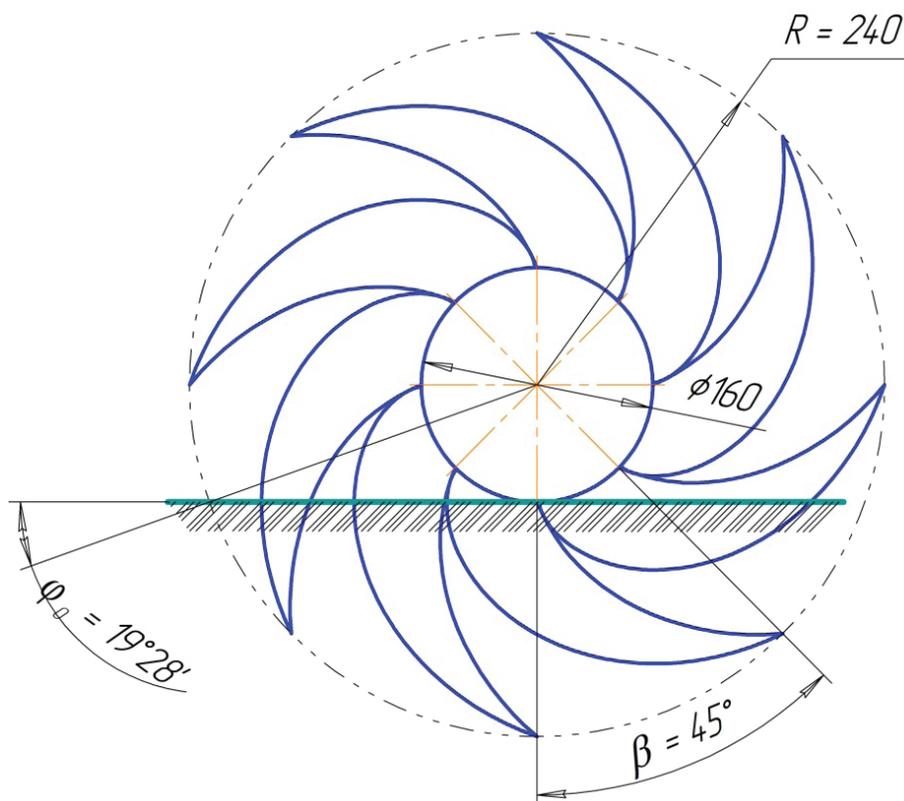


Рисунок 4 – Схема расположения активных рабочих органов в роторе

Figure 4 – Layout of active working bodies in a rotor

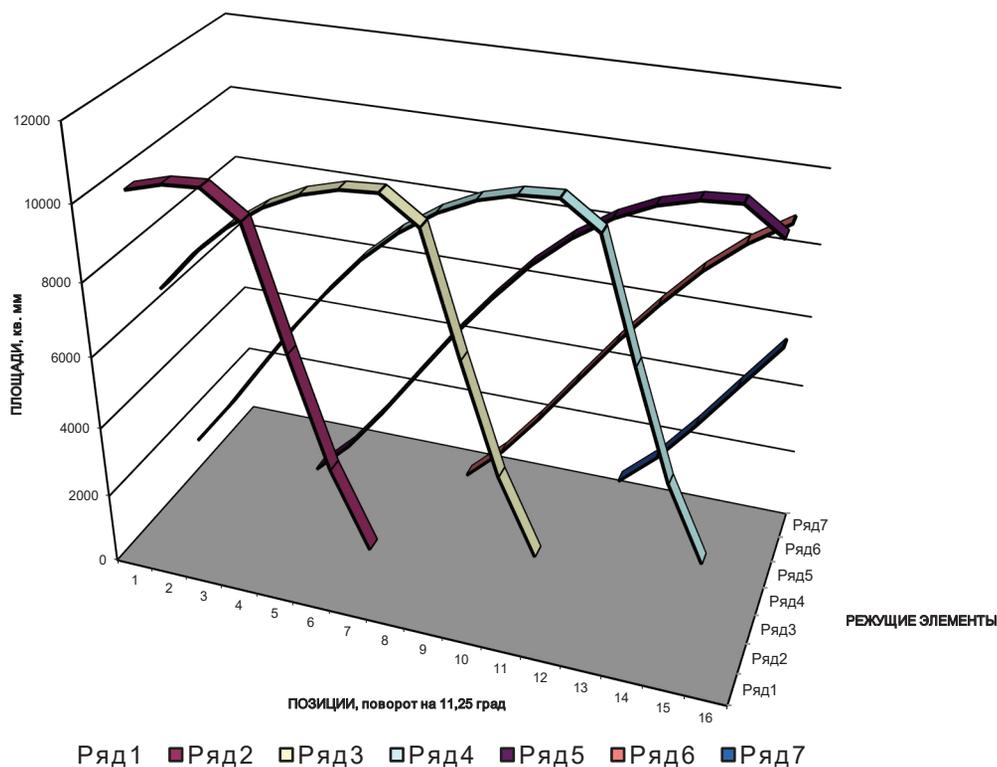


Рисунок 5 – Изменение боковых площадей  $S_{\delta i}$  отдельных активных рабочих органов группы, погружённых в грунт

Figure 5 – Change of the  $S_{\delta i}$  side areas of separate active group working bodies on soil

$b_{m\delta} = 100$  мм между смежными активными рабочими органами.

Примем ширину захвата роторного рыхлителя  $B = 10$  м. Так как рабочие органы расположены в вале ротора на расстоянии  $b_{m\delta} = 0,1$  м, количество долот в обороте спирали 8, общее количество долот на вале ротора 100 шт, а количество витков спирали, по которой развёрнуты рабочие органы, 12,5. Грунт – тяжёлые суглинки, армированные корнями, с удельным сопротивлением  $k = 0,9$  МПа. Исходя из конструктивной компоновки ротора рыхлителя и минимальных затрат энергии на разработку грунта, установим скорость агрегата  $v_a = 0,085$  м/с и минимальный кинематический параметр  $\lambda = 3^{19}$ . Из рисунка 4 угол  $\varphi_0 = 19,47^\circ$ . Отсюда расчётная угловая скорость вала ротора формула (7)

$$\omega_p = \frac{v_a}{0,24 \cdot \sin 19,47^\circ} = 12,5v_a \approx 1,07 \text{ рад/с.}$$

Выявим изменения боковых площадей отдельных активных рабочих органов, погружённых в грунт (рисунок 5). Расчёт площадей эффективных лобовых сечений активных рабочих органов, погружённых в грунт, при обороте ротора дан в таблице 1.

По полученным данным определим изменение суммарной силы сопротивления грунта вращению ротора и изменение необходимого вращающего момента (таблица 2).

Если сила воздействия активного рабочего органа приложена к его носку (см. рисунок 1), то необходимый средний вращающий момент  $T_{cp} = 14750$  Нм. Ориентировочная мощность привода ротора формула (11)

$$N = 14750 \cdot 1,07 \approx 15782 \text{ Вт} \approx 15,8 \text{ кВт.}$$

<sup>19</sup>Партон В.3. Механика разрушения. От теории к практике (пер. с английского). М. : Изд. ЛКИ, 2016. 240 с.

## РАЗДЕЛ I.

### ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Таблица 1  
Длины и площади эффективных лобовых сечений активных рабочих органов,  
погружённых в грунт, при обороте ротора

Table 1  
Lengths and areas of effective front sections of active working bodies on soil by rotor turn

Длины эффективных сечений, мм							Общая длина	Ширина долота	Площадь сечения
Б	В	Г	Д	Е	Ё	Ж	мм	мм	кв. мм
183	160	73					416	12	4992
181	170	102					453	12	5436
173	177	125	8				483	12	5796
102	181	146	40				469	12	5628
	183	160	73				416	12	4992
	181	170	102				453	12	5436
	173	177	125	8			483	12	5796
	102	181	146	40			469	12	5628
		183	160	73			416	12	4992
		181	170	102			453	12	5436
		173	177	125	8		483	12	5796
		102	181	146	40		469	12	5628
			183	160	73		416	12	4992
			181	170	102		453	12	5436
			173	177	125	8	483	12	5796
			102	181	146	40	469	12	5628

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе синтезного метода удалось наметить пути уменьшения затрат энергии на циклическое резание грунта рабочим органом, определить многие конструктивные параметры роторного рыхлителя, произвести ориентировочный расчёт сил взаимодействия рабочего органа с грунтом, определить средний необходимый вращающий момент и мощность привода ротора. Для полной реализации цели исследования необходимо после расчётов параметров на основе синтезного метода произвести анализ взаимодействия рабочих органов с грунтом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жук А.Ф. Теоретическое обоснование рациональной технологической схемы и параметров ротационного плуга // Сборник научных трудов «Теория и расчёт почвообрабатывающих машин». Т. 120. М.: Машиностроение, 1989. С. 145–153.
2. Карасёв Г.Н. Определение силы резания грунта с учётом упругих деформаций при разрушении // Строительные и дорожные машины. 2008. № 4. С. 36–42.

3. Карнаухов А.И., Орловский С.Н. Определение затрат удельной энергии на процесс резания лесных почв торцевыми фрезами // Строительные и дорожные машины. 2010. № 1. С. 20–22.

4. Кравец И.М. Определение критической глубины резания при комбинированном резании грунтов гидрофрезой // Строительные и дорожные машины. 2010. № 5. С. 47–49.

5. Кириллов Ф.Ф. Детерминированная математическая модель временного распределения тягового усилия для многолезцовых рабочих органов землеройных машин // Строительные и дорожные машины. 2010. № 11. С. 44–48.

6. Берестов Е.И. Влияние трения грунта по поверхности ножа на сопротивление резанию // Строительные и дорожные машины, 2010. № 11. С. 34–38.

7. Вершинин А.В., Зубов В.С., Тюльнев А.М. Повышение эффективности дискофрезерных рабочих механизмов для разработки мёрзлых грунтов // Строительные и дорожные машины. 2012. № 8. С. 42–44.

8. Баловнев В.И., Нгуен З.Ш. Определение сопротивлений при разработке грунтов рыхлителем по интегральному показателю проч-

Таблица 2  
Сопrotивление грунта и необходимый вращающий момент для привода ротора

Table 2  
Resistance of soil and necessary rotating moment for the rotor drive

Площадь лобового сечения	Удельное сопротивление	Сопrotивление грунта одной развёртке	Кол-во развёрток рабочих органов	Общее сопротивление грунта	Максимальное плечо	Максимальный вращающий момент
кв. мм	МПа	Н		Н	м	Нм
4992	0,9	4492,8	12,5	56160	0,24	13478,4
5436	0,9	4892,4	12,5	61155	0,24	14677,2
5796	0,9	5216,4	12,5	65205	0,24	15649,2
5628	0,9	5065,2	12,5	63315	0,24	15195,6
4992	0,9	4492,8	12,5	56160	0,24	13478,4
5436	0,9	4892,4	12,5	61155	0,24	14677,2
5796	0,9	5216,4	12,5	65205	0,24	15649,2
5628	0,9	5065,2	12,5	63315	0,24	15195,6
4992	0,9	4492,8	12,5	56160	0,24	13478,4
5436	0,9	4892,4	12,5	61155	0,24	14677,2
5796	0,9	5216,4	12,5	65205	0,24	15649,2
5628	0,9	5065,2	12,5	63315	0,24	15195,6
4992	0,9	4492,8	12,5	56160	0,24	13478,4
5436	0,9	4892,4	12,5	61155	0,24	14677,2
5796	0,9	5216,4	12,5	65205	0,24	15649,2
5628	0,9	5065,2	12,5	63315	0,24	15195,6
	Средний максимальный вращающий момент					14750,1

ности // Строительные и дорожные машины. 2005. №3. С. 38–40.

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

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

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

12. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. // Cold Regions Science and Technology. 2013. Vol. 86. P. 142-166.

13. Sun X. АCT-timely experimental study

on meso-scope damage development of frozen soil under triaxial shearing. // Rock and Soil Mechanics. 2005. №8. P. 150-163.

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

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

16. Николаев В.А., Капралов В.В., Гумённый В.В. Пути уменьшения затрат энергии на работу рыхлителя устройства формирования подстилающего слоя автодорог // Вестник Ярославского высшего военного училища, 2018. №1. С. 165–170.

## REFERENCES

1. Zhuk A.F. Teoreticheskoe obosnovanie racional'noj tehnologicheskoy shemy i parametrov rotacionnogo pluga. Sbornik nauchnyh trudov «Teorija i raschjot pochvoobrabatyvajushhih

mashin» [Theoretical substantiation of rational technological scheme and parameters of Rotary plow. Collection of scientific works "theory and calculation of tillage machines." Т 120]. Moscow, Mashinostroenie, 1989: 145–153 (in Russian).

2. Karasyev G.N. Opredelenie sily rezanija grunta s uchjotom uprugih deformacij pri razrushenii [Definition of the cutting force of soil considering elastic deformation at fracture]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2008; 4: 36-42 (in Russian).

3. Karnaukhov A.I., Orlovskiy S.N. Opredelenie zatrat udel'noj jenergii na process rezanija lesnyh pochv torcevyimi frezami [Costing of specific energy on the cutting process of forest soils end mills]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2010; 1: 20-22 (in Russian).

4. Kravets I.M. Opredelenie kriticheskoj glubiny rezanija pri kombinirovannom rezanii gruntov gidrofrezo [Determine critical cutting depth when combined cutting soils gidrofrezoj]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2010; 5: 47–49 (in Russian).

5. Kirillov F.F. Determinirovannaja matematicheskaja model' vremennogo raspredelenija tjagovogo usilija dlja mnogorezcovykh rabochih organov zemlerojnyh mashin [Deterministic mathematical model of the temporal distribution of traction for working bodies of earthmoving machines]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2010; 11: 44–48 (in Russian).

6. Berestov E.I. Vlijanie trenija grunta po poverhnosti nozha na soprotivlenie rezaniju [Influence of the soil friction on the surface of the knife cutting resistance]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2010; 11: 34–38 (in Russian).

7. Vershinin A.V., Subov V.S., Tyulnev A.M. Povyshenie jeffektivnosti diskofrezemyh rabochih mehanizmov dlja razrabotki mjorzlyh gruntov [Improving the efficiency of the working mechanisms for the development of frozen soil]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2012; 8: 42–44 (in Russian).

8. Balovnev V.I., Nguen Z.SH. Opredelenie soprotivlenij pri razrabotke gruntov ryhlitelem po integral'nomu pokazatelju prochnosti [Identification of resistances when designing primers ripper by a combined indicator of strength]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2005; 3: 38–40 (in Russian).

9. Zavyalov A.M., Zavyalov M.A., Kuznetsova V.N., Mezherjakov V.A. Mathematical modeling

of workflows, road and construction machines: simulation and adaptive models. Omsk, SibADI, 2012. 411 p. (in Russian).

10. Ryabets N., Kurzhner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy. Cold Regions Science and Technology. 2003; 36: 115–128.

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

12. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. Cold Regions Science and Technology. 2013; 86: 142–166.

13. Sun X. ACT-timely experimental study on meso-scopic damage development of frozen soil under triaxial shearing. Rock and Soil Mechanics. 2005; 8: 150–163.

14. Li Q. Development of Frozen Soil Model. Advances in Earth Science. 2006; 12: 96–103.

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

16. Nikolayev V.A., Kapralov V.V., Gumeny V.V. Ways to reduce energy consumption at work underlying layer forming device incorporated highways. Vestnik Jaroslavskogo vysshego voennogo uchilishha. 2018; 1: 165–170 (in Russian).

**Поступила 26.03.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГОУ ВО Ярославский технический университет (г. Ярославль, Московский пр., 88. e-mail: Nikolaev53@inbox.ru).*

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*Vladimir A. Nikolaev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Construction and Road Machines Department, Yaroslavl Technical University (Yaroslavl, 88, Moskovsky Ave., e-mail: Nikolaev53@inbox.ru).*

## **РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ**

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТНЫХ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

С.М. Мочалин, Ю.А. Колебер\*  
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,  
г. Омск, Россия  
\*uljachabol@mail.ru

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Городской пассажирский транспорт играет важную роль в жизнедеятельности населения города и обеспечении эффективной, бесперебойной работы всей городской системы в целом. Однако в настоящее время в сфере городского пассажирского транспорта во многих городах России накопился ряд существенных проблем. В частности, это проблемы развития городской маршрутной сети, показатели функционирования которой определяют уровень качества транспортного обслуживания населения и экономический эффект работы городского пассажирского транспорта. В связи с этим актуальным становится исследование перспектив развития методов оптимизации городской маршрутной сети.

**Материалы и методы.** В статье представлен хронологический анализ методов оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта. Отражена специфика их применения, приведены достоинства и недостатки. Отражены тенденции развития современных методов оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта. Существующие многочисленные методы оптимизации городских маршрутных сетей в обобщенном виде можно разделить на два типа: эвристические, ставшие на сегодняшний день классическими, и качественно новые метаэвристические, позволяющие управлять задачами, содержащими нелинейные функции в процессе оптимизации городских маршрутных сетей. В условиях современного развития науки и программно-вычислительных средств в исследуемой области метаэвристические методы становятся перспективным направлением.

**Результаты.** Выявлено, что со временем методы оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта совершенствовались и на сегодняшний день дают возможность учитывать противоположные интересы участников процесса перевозки пассажиров в городе, а также задавать большой набор исходных параметров и ограничений для математической модели оптимизации городской маршрутной сети. Выявлены основные особенности оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта в условиях современного развития науки и программно-вычислительных средств в исследуемой области. На сегодняшний день точных методов оптимизации городских маршрутных сетей не существует. Задача оптимизации маршрутной сети является комбинаторной.

**Обсуждение и заключение.** Проведенное исследование может быть полезным не только для дальнейшего развития науки в исследуемой области, но и для практической реализации процесса оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** маршрутная сеть, городской пассажирский транспорт, оптимизация, эвристический метод, метаэвристический метод, матрица корреспонденций, пассажирский поток, транспортная сеть, остановочный пункт, подвижной состав.

© С.М. Мочалин, Ю.А. Колебер



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# URBAN PASSENGER TRANSPORT ROAD NETWORKS: PROSPECTS OF METHODS' OPTIMIZATION

S.M. Mochalin, J.A. Koleber\*

Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia

\*uljachabol@mail.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** City passenger transport plays an important role in life of the population of the city and in ensuring the efficient, uninterrupted operation of the entire urban system as a whole. However, currently in the field of urban passenger transport in many cities of Russia a number of significant problems have accumulated. In particular, these are problems of the development of the urban route network, the performance indicators of which determine the level of quality of transport services for the population and the economic effect of the operation of urban passenger transport. In this connection, the study of the prospects for the development of methods for optimizing the urban route network becomes relevant.

**Materials and methods.** The article presents a chronological analysis of methods for optimizing route networks of urban passenger transport. It reflects the specifics of their use, shows the advantages and disadvantages. The authors also reflect the trends in the development of modern methods of optimization of route networks of urban passenger transport. The existing numerous methods for optimizing urban route networks could be divided into two types: heuristic, which have become classical today, and qualitatively new ones – metaheuristic, allowing managing tasks that contain nonlinear functions in the process of optimizing urban route networks. As modern science, software and computing facilities in the studied area have been developing very fast, metaheuristic methods are becoming a promising direction.

**Results.** It had been revealed that over time, methods for optimizing the route networks of urban passenger transport had been improved and made it possible to take into account the opposing interests of the participants in the passenger transportation process in the city, as well as to set a large set of initial parameters and constraints for a mathematical model for optimizing the urban route network. The authors revealed the main features of the optimization of the route networks of urban passenger transport in the conditions of the modern development of science and software and computing facilities in the studied area. To date, there were no exact optimization methods for optimizing urban route networks. The task of optimizing the route network appeared to be combinatorial.

**Discussion and conclusions.** The research is useful not only for the further development of science in the area under study, but also for the practical implementation of the process of optimizing the route networks of urban passenger transport.

**KEYWORDS:** route network, public passenger transport, optimization, heuristic method, metaheuristic method, correspondence matrix, passenger flow, transport network, stopping point, rolling stock.

© S.M. Mochalin, J.A. Koleber



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

### ВВЕДЕНИЕ

В составляющих рейтинга качества жизни регионов России важное место занимает развитие городских транспортных систем. Успешное функционирование городского пассажирского транспорта (ГПТ) благотворно влияет на уровень жизни населения и городскую среду в целом. Однако в настоящее время в силу многих сложившихся факторов в сфере ГПТ многих городов России возник ряд существенных проблем, мешающих его полноценному функционированию и удовлетворению требований городского населения к уровню качества предоставляемых им транспортных услуг. Главным образом это касается функционирования городских маршрутных сетей (МС), показатели функционирования которых напрямую определяют качество перевозок пассажиров в городе и эффективность городских транспортных систем. Таким образом, оптимизация МС является на сегодняшний день актуальным направлением.

Вопросами оптимизации МС ГПТ ученые занимаются уже более 100 лет. При этом по мере пополнения базы научных разработок в этой области совершенствуются и методы оптимизации, усложняются предлагаемые математические модели, появляется возможность решения многокритериальных задач.

Анализ методов оптимизации МС ГПТ представлен в работах [1, 2, 3]. Их авторы делят все существующие методы на три группы:

- 1) оптимизация МС ГПТ в автоматизированном режиме;
- 2) совмещение оптимизации МС ГПТ в автоматизированном режиме и экспертной оценки результатов специалистом;
- 3) принятие решения на основе опыта и неформализованного анализа экспертов.

В работе [4] дана более подробная классификация научных методов решения рассматриваемой задачи, согласно которой эти методы в обобщенном виде делятся на два типа: эвристические (классические) и метаэвристические. В результате имеет смысл описать суть этих методов в настоящем исследовании. Изучение опыта оптимизации МС ГПТ позволит выявлять особенности и перспективы развития науки в исследуемой области.

Цель статьи – исследование методов и выявление особенностей оптимизации МС ГПТ.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В дореволюционной России вопросам ГПТ не уделялось должного научного внимания. Среди первых книг в России по ГПТ следует отметить следующие: 1908 г. – «Городские электрические железные дороги», 1910 г. – «Планировка городов» (автор книг – профессор Г.Д. Дубелир), 1912 г. – «Благоустройство городов» архитектора В.Н. Семенова. В данных книгах рассматриваются вопросы ГПТ с точки зрения планировочных решений на городских магистралях.

В 1927 г. впервые вышел в свет информационный «Трамвайный бюллетень», который стал издаваться ежемесячно. В 1932 г. вышел в печать научный журнал «Транспорт и дороги города». Это положило начало развитию научных разработок в области управления транспортными системами городов.

В конце 1932 г. создан Научно-исследовательский институт городского движения (НИИ-ГД) Моссовета. Таким образом, был заложен официальный центр научных исследований в области ГПТ.

Впервые к вопросу оптимизации МС ГПТ с научной стороны в России подошел А.Х. Зильберталь и в 1932 г. предложил метод установления трамвайных маршрутов<sup>1</sup>. В.С. Ларионов назвал этот метод «методом увязки маршрутов по узлам»<sup>2</sup>. В труде А.Х. Зильберталя впервые были заложены теоретические основы оптимизации МС всех видов ГПТ. При этом оптимизацию МС городов предлагалось производить с учетом потребностей населения и особенностей планировки города.

В 1934 г. в Секторе планировки и социалистической реконструкции городов Всесоюзного совета по делам коммунального хозяйства (ВСКХ) при ЦИК СССР одной из работ, посвященных оптимизации МС, явилась работа Г.В. Шелейховского «Уличная сеть и связанные с ней нормативы». Позднее в 1936 г. Г.В. Шелейховский в своей рукописи «Транспортные основания композиции городского плана» попытался «установить связь между размерами

---

<sup>1</sup> Зильберталь Ф.Х. Трамвайное хозяйство. М.: Гострансиздат, 1932. 304 с.

<sup>2</sup> Бронштейн Л.А., Ларионов В.С., Нелидов И.А. Организация движения городского пассажирского транспорта: Труды НИИГТ Моссовета. М.: Изд-во НКХ РСФСР. 1940. 252 с.

уличного движения и планировочной характеристикой уличной сети»<sup>3</sup>.

В целом с 1933 по 1937 гг. в НИИГД Моссовета, в ЛНИИКХ и в секторе городского транспорта АКХ исследовались методы оптимизации МС ГПТ и ее пропускная способность<sup>4</sup>.

В 1938 г. Н.Н. Закутин предложил «метод наименьшей стоимости» для задачи оптимизации МС<sup>5</sup>. Далее в 1939 г. появляется работа «Городской пассажирский транспорт» А.П. Александрова, Л.А. Бронштейна, А.А. Полякова<sup>6</sup>, в которой представлена методика комплексного проектирования сетей ГПТ с представлением некоторых результатов разработки перспективной схемы развития транспортной системы г. Москвы, а в 1940 г. Ларионов в своей работе [7] исследует теоретические основы оптимизации МС ГПТ.

Развертывание научных работ в области оптимизации МС ГПТ было прервано начавшейся в 1941 г. Великой Отечественной войной.

В послевоенное время научные исследования в области оптимизации МС ГПТ были возобновлены. В 1946 г. А.М. Якшин привел анализ планировочных решений с точки зрения удобства пассажирских сообщений, направленных на сокращение затрат времени на передвижение<sup>7</sup>. Ученый А.А. Поляков продолжил свои исследования в области оптимизации МС ГПТ и в 1953 г. в книге<sup>8</sup> так же, как и А.М. Якшин, исследовал планировочные аспекты рассматриваемого процесса.

При этом особое внимание ученые уделяли формированию комплекса требований, предъявляемых к МС.

Предложенные в рассмотренный период методы к оптимизации городских МС не получили практического применения, поскольку имели ряд существенных недостатков. Среди

этих недостатков стоит отметить невозможность реализации обозначенных методов в автоматизированном режиме и сравнения большого количества вариантов МС ГПТ ввиду отсутствия электронно-вычислительных машин, формализованной математической постановки и четких рекомендаций к оптимизации МС. На практике данные методы могли получить свое применение только для простых МС и были достаточно трудоемки.

Однако, несмотря на перечисленные недостатки, обозначенные методы явились основой для дальнейшего развития базы научных разработок в области ГПТ, учеными впервые были сформулированы критерии оптимизации городских МС.

В начале 60-х гг. XX в. стали активно развиваться эвристические методы оптимизации МС ГПТ.

Первой работой, положившей начало новому этапу в развитии методов оптимизации МС ГПТ и явившейся основой для дальнейших крупных разработок и исследований в этой области, стала работа Б.Л. Геронимуса «Методика определения оптимальной схемы автомобильных маршрутов»<sup>9</sup>. Работа была выполнена в 1962–1963 гг. в Государственном научно-исследовательском институте автомобильного транспорта (НИИАТ). По сути, она стала прародительницей методики НИИАТ, которая дорабатывалась, дополнялась и совершенствовалась многими авторами в дальнейшем.

Позднее 1965 г. Б.Л. Геронимус совместно с коллегами В.А. Паршиковым и А.И. Егоровой предложили методику построения МС автобусного транспорта<sup>10</sup>. Ввиду особой значимости данной методики стоит подробно ее описать. Территория города разбивается на транспортные микрорайоны в соответствии с определенными требованиями зонирования. Транспортная сеть города задается в

<sup>3</sup> Поляков А.А. Развитие науки в области городских путей сообщения [Электронный ресурс]. URL : [http://www.waksman.ru/Russian/Vehi/\\_Polyakov.pdf](http://www.waksman.ru/Russian/Vehi/_Polyakov.pdf) (дата обращения: 02.02.2019).

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Закутин Н.Н. Организация трамвайных пассажирских перевозок. М. : Гостранстехиздат, 1938. 255 с.

<sup>6</sup> Александров А.П., Бронштейн Л.А., Поляков А.А., Городской пассажирский транспорт. М. 1939. 58 с.

<sup>7</sup> Якшин А.М. Планировка транспортных сетей: Опыт градостроительного исследования. М., 1946. 88 с.

<sup>8</sup> Поляков А.А. Городское движение и планировка улиц. М. : Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. 1953. 251 с.

<sup>9</sup> Геронимус Б.Л. Методика определения оптимальной схемы автомобильных маршрутов. 1963.

<sup>10</sup> Геронимус Б.Л., Егорова А.И., Паршиков В.А. Математическая методика определения схемы автобусных маршрутов в городах : в кн. Совершенствование планирования и организации автомобильных перевозок. М. : Транспорт, 1965. С. 43–79.

виде графа, вершинами которого являются узловые центры полученных транспортных микрорайонов, а ребрами – участки транспортной сети, по которым возможно движение автобусов. Вершинам графа ставится в соответствие время на пересадку, а ребрам – их длина и время следования на автобусе. Ввиду невозможности оптимизации МС без данных о пассажирских корреспонденциях определяется матрица пассажирских корреспонденций между микрорайонами города методом анкетного обследования. Задача оптимизации заключается в нахождении минимума затрат времени пассажиров на передвижения, в которые включаются время ожидания автобуса, время следования по МС, время на пересадки и выраженные во временном показателе неудобства пассажиров, связанные с пересадкой и включающие дополнительные финансовые затраты на оплату проезда. Время пешеходов к ОП здесь не учитывается, поскольку оно полагается одинаковым для всех передвижений. При этом задается ряд ограничений: общее количество автобусов, коэффициент использования вместимости автобусов, протяженность каждого из маршрутов, размещение конечных остановочных пунктов, максимально допустимый интервал движения автобусов на МС. Задается, что в МС должен быть включен ряд априорных маршрутов. Построение маршрутов ведется на кратчайших по времени путях, связывающих транспортные микрорайоны города.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать эвристический метод направленного перебора вариантов, предложенный В.А. Паршиковым<sup>11, 12</sup>. Согласно этому методу, на первом шаге строится начальное множество маршрутов R, включающее априорно заданные маршруты и маршруты, включение которых в МС удовлетворяет условиям присутствия их в оптимальной совокупности. Второй шаг – строится множество допустимых маршрутов D, удовлетворяющих ограничениям поставленной оптимизационной задачи. Далее в множестве D отыскивается такой маршрут, включение которого в множество

R обеспечивает максимальное уменьшение временных затрат пассажиров. Данная процедура повторяется до тех пор, пока включение маршрута из множества D в множество R не начнет способствовать уменьшению критерия. При этом рекомендуется повторить описанный перебор, но уже в иной последовательности: введение в множество R всех допустимых маршрутов множества D и отыскание маршрута, исключение которого из R обеспечит наибольшее уменьшение критерия.

В 1968 г. разработанная методика была реализована на ЭВМ «Урал-2». Однако ограниченные программы по количеству микрорайонов, на которые разбивается город при моделировании (не более 36 микрорайонов), значительно усложняло процедуру рационализации МС для крупных городов и могло препятствовать адекватности моделирования. Для сравнения: в соответствии с требованиями к зонированию города на микрорайоны требовалось разбивать его более чем на 100 зон. Однако и при таком количестве микрорайонов возникает еще одна сложность – значительные затраты времени на расчеты ввиду большого числа анализируемых вариантов маршрутов.

Стоит отметить, что в методике НИИАТ не учитывается распределение пассажиропотоков по маршрутам в зависимости от наличия маршрутов с несколькими видами ГПТ.

В 1966 г. для облегчения процесса направленного перебора вариантов МС создана методика расчета схем маршрутного пассажирского транспорта в городе с применением математических методов. В этой работе, а также в<sup>13</sup> ученые предложили формировать оптимальные маршруты ГПТ методом комбинаторного анализа, который заключается в целенаправленном отборе вариантов МС посредством их сравнения между собой по определенным критериям. Ввиду того что количество сравниваемых вариантов МС может достигать огромных значений и сравнивать их представлялось достаточно сложной задачей, ученые предложили метод комбинаторного анализа с направленным отбором вариантов.

Из-за отсутствия значимых ограничений,

---

<sup>11</sup> Паршиков В.А. Определение оптимального размещения расчетной мощности элементов комплекса устройств // Техничко-экономические вопросы развития транспорта : труды конф. молодых специалистов. Кибернетика и транспортные процессы. М. 1963. С. 7–33.

<sup>12</sup> Паршиков В.А. Приближенное решение комбинаторной задачи размещения комплекса устройств // Материалы к конференции по опыту и перспективам применения математических методов и ЭВМ в планировании. Новосибирск, 1962. 8 с.

<sup>13</sup> Зильберталь Ф.Х. Трамвайное хозяйство. М. : Гострансиздат, 1932. 304 с.

которые бы позволили уменьшить количество сравниваемых вариантов МС и тем самым сократить трудоемкость процесса рационализации, применение предложенных в этот период методов не получило значительного распространения. К тому же несовершенство первых ЭВМ в области совершенствования МС ГПТ усложняло процедуру поиска рационального решения.

Однако предложенная методика послужила хорошей основой для дальнейших исследований в области оптимизации МС и получила развитие и дополнение разработками других ученых (преимущественно в НИИАТ).

Так, в 1974 г. группа ученых М.Е. Антошвили, Г.А. Варелопуло, М.В. Хрущев<sup>14</sup> усовершенствовали описанную выше методику путем исключения вариантов маршрутов, являющихся нецелесообразными для МС. Более того, для оптимизации МС ученые ввели ряд ограничений: минимальная и максимальная длина маршрута, максимально допустимый интервал движения, минимально допустимый коэффициент использования вместимости, количество автобусов и др. Данная методика позволила снизить трудоемкость процесса оптимизации.

Стоит отметить, что М.В. Хрущев<sup>15</sup> и М.Е. Антошвили начали заниматься вопросами оптимизации городских МС еще с 1969 г.<sup>16</sup> [6].

М.В. Хрущев, а также другие ученые продолжали развивать рассматриваемую методику в дальнейшем.

М.Д. Блатнов определил два критерия оптимизации МС: сокращение временных затрат

пассажирам на поездки и минимизация пересадочности на маршрутах<sup>17</sup>. При этом автор рассматривает последовательность формирования оптимальной МС с учетом второго критерия.

В 1974 г. Г.А. Каранян и Дж.Р. Симонян предложили итерационный метод оптимизации городских МС<sup>18</sup>. Авторы представляют процесс формирования МС в поэтапном виде с описанием критериев оптимизации. При этом делается акцент на необходимость предварительной отбраковки неэффективных маршрутов по следующему критерию: отношение максимальной интенсивности пассажиропотока к средней интенсивности пассажиропотока.

Новый этап в развитии научных разработок в области оптимизации МС начался в 1976 г., когда этой задаче было посвящено большое количество работ<sup>19</sup> [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Более подробно стоит остановиться на работах таких ученых, как В.В. Яворский<sup>20</sup>, И.П. Макаров [10] и Т.Е. Брейдо<sup>21, 22</sup>, поскольку их разработки внесли существенный вклад в развитие методов оптимизации городских МС. В.В. Яворский и И.П. Макаров [10] предложили двухэтапную методику оптимизации МС и впервые решили формировать избыточную совокупность маршрутов, включающую только достаточно рациональные маршруты из всех возможных их вариантов. Таким образом, сокращается количество допустимых маршрутов, а значит, и количество анализируемых вариантов МС, что значительным образом сократит временные затраты на формирование МС и трудоемкость процесса оптимизации.

<sup>14</sup> Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А., Хрущев М.В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. М.: Транспорт, 1974. 104 с.

<sup>15</sup> Хрущёв М.В. Совершенствование методов организации перевозок пассажиров автобусами в городах с применением ЭЦВМ: автореф. дис. канд. техн. наук. Хрущев М.В. М.: МИЭИ, 1970.

<sup>16</sup> Хрущёв М.В. Составление оптимальных схем автобусных маршрутов в городах // Организация и экономика автомобильного транспорта. М.: Транспорт, 1970. С. 119–133.

<sup>17</sup> Блатнов М.Д. Пассажирские автомобильные перевозки. М.: Транспорт, 1973. 301 с.

<sup>18</sup> Каранян Г.А., Симонян Дж.Р. Итерационный метод оптимизации маршрутной сети городского автомобильного транспорта // Совершенствование технико-эксплуатационных показателей в автомобильном транспорте. Ереван: Айстан, 1974. Вып. 5. С. 12–15.

<sup>19</sup> Акулова А.Я., Ниедола И.Д. Совершенствование маршрутной системы массового пассажирского транспорта. : в кн. Комплексное развитие АТ крупных городов: тез. докл. П Всесоюзн. науч.-техн. конф. М. 1981. С. 68–69.

<sup>20</sup> Яворский В.В. Модели и алгоритмы проектирования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.03 / Яворский Владимир Викторович. Томск, 1976. 193 с.

<sup>21</sup> Брейдо Т.Е. Математическое моделирование транспортных сетей и оптимизация параметров их функционирования : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.03 / Брейдо Т.Е. Горький, 1977. 248 с.

<sup>22</sup> Брейдо Т.Е. Моделирование и оптимизация при проектировании сети ГПТ // Моделирование процессов управления транспортными системами : тез. докл. всеоюзн. конф. Владивосток, 1977. С.85–86.

ции. Формирование избыточной совокупности маршрутов составляет первый этап предложенной методики. При этом здесь выделяются микрорайоны, которые должны быть связаны одним маршрутом. В качестве критерия выступает средняя интенсивность пассажиропотока между объединяемыми микрорайонами. Далее решается задача определения последовательности прохождения микрорайонов маршрутом – обобщение задачи о коммивояжере. Критерием этой задачи являются суммарные затраты времени пассажиров или неравномерность пассажиропотока на маршруте. На втором этапе для сформированной избыточной совокупности маршрутов определяется необходимое или распределяется заданное количество подвижного состава на каждом маршруте. Затем из избыточной совокупности исключаются те маршруты, которые получили малое количество подвижного состава. Для полученного таким образом варианта МС снова осуществляется расчет количества подвижного состава на каждом маршруте и критерия оптимальности, содержащего затраты на организацию и функционирование маршрутов ГПТ, доходы от перевозок и стоимостное выражение временных затрат пассажиров на передвижения. Этот процесс повторяется до тех пор, пока исключение маршрутов не будет давать улучшение критерия оптимальности, т.е. данный процесс носит итеративный характер. Таким образом, путем подобного анализа избыточной совокупности определяют оптимальный вариант МС.

Стоит отметить следующие достоинства данного метода: сокращение временных затрат и трудоемкости процесса оптимизации МС ввиду формирования избыточной совокупности маршрутов; принятие во внимание такого фактора, как ограниченное количество подвижного состава ГПТ и его учет при оптимизации МС; содержание в критерии оптимальности такого важного показателя эффективности функционирования ГПТ, как временные затраты пассажиров.

Однако наряду со значимыми достоинствами предложенного метода он имеет ряд недостатков. Так, например, объединение микрорайонов на первом этапе проектирования по критерию средней интенсивности пассажиропотока между ними не совсем учитывает тех-

нологические особенности прокладываемых маршрутов и взаимное расположение этих микрорайонов на территории города. В результате могут получиться маршруты с большим коэффициентом непрямолинейности.

Т.Е. Брейдо задачу оптимизации МС представил как четырехкритериальную задачу синтеза многопродуктовой сети. В качестве критериев определены следующие показатели: 1-й критерий – суммарное время передвижения пассажиров; 2-й критерий – количество подвижного состава на максимально загруженном перегоне; 3-й критерий – стоимость поездок; 4-й критерий – затраты на создание и эксплуатацию МС. Задачу предлагается решать в три этапа. На первом этапе для некоторого варианта МС осуществляется распределение пассажиропотока по тем маршрутам, которые обеспечивают минимизацию первого и второго критериев. На втором этапе достигается минимизация четвертого критерия и осуществляется распределение подвижного состава по маршрутам. На третьем этапе минимизируется третий критерий, при этом ограничениями служат величины пассажиропотоков и количество подвижного состава, найденные на первых двух этапах. Затем обозначенные этапы повторяются до тех пор, пока относительное улучшение критериев не достигнет заданной точности.

Несомненным достоинством предложенного метода является то, что автором сделана формализованная постановка задачи синтеза МС в целом. Однако предложенная методика не может быть в полной мере реализована для сложных МС в крупных городах с большим количеством микрорайонов ввиду больших размеров задачи. Более успешное применение метод может получить для модификации существующей МС.

В работе Т.Ш. Горшкова<sup>23</sup> представлен эвристический алгоритм формирования маршрутов, заключающийся в следующем. Из матрицы корреспонденций выбирается самая длинная ненулевая корреспонденция, кратчайший путь между корреспондирующими пунктами которой образует *i*-й маршрут. К данному маршруту относятся все взаимные корреспонденции между транспортными микрорайонами, через которые проходит этот кратчайший путь. Затем выбирается следую-

---

<sup>23</sup> Горшков Т.Ш. Вопросы планирования маршрутных систем пассажирского транспорта в городах, расположенных в сложных топографических условиях (на примере г. Тбилиси) : дис. ... канд. техн. наук Горшков Т.Ш. 05.22.02 М., 1981. 193 с.

щая самая длинная ненулевая корреспонденция, не относящаяся к  $i$ -му маршруту. По ней определяется второй маршрут, который «нагружается» корреспонденциями аналогично  $i$ -му маршруту и т.д. Решение задачи направлено на минимизацию таких критериев, как количество пересадок, время передвижения, суммарная протяженность маршрутов. Однако стоит отметить, что предложенный автором метод не в полной мере обеспечивает минимизацию выдвинутых критериев.

В 80-х гг. некоторые авторы стали учитывать при оптимизации МС противоположные интересы участников системы ГПТ: затраты перевозчиков с одной стороны и стоимость оценки временных потерь пассажиров – с другой.

В 1983 г. С.Ю. Ольховский<sup>24</sup> внес значительный вклад в совершенствование методов оптимизации МС, предложив многоэтапный итерационный подход к формированию МС с подробными математическими моделями и алгоритмами. При этом в задачу оптимизации МС входит и такая важная составная часть, как определение рациональных типов и количества подвижного состава ГПТ на маршрутах.

На первом этапе формируется множество возможных маршрутов, удовлетворяющих ограничениям на размещение начально-конечных пунктов и длине маршрутов.

На втором этапе из полученного множества возможных маршрутов осуществляется формирование рациональной совокупности по критерию максимизации суммарной на МС пассажиронапряженности беспересадочных сообщений.

На третьем этапе формируются альтернативные варианты МС. При формировании вариантов МС учитывается прежде всего количество пассажиров, которые могут совершать передвижения без пересадок в рамках рассмотренного варианта МС.

После этого на четвертом этапе осуществляются анализ сформированных вариантов МС и отбор наилучшего из них. Задачами ана-

лиза являются моделирование распределения (нагрузке) корреспонденций на маршруты, определение рационального типа и количества подвижного состава на маршрутах (если они исходно не заданы), расчет основных характеристик маршрутов и МС в целом (показатели качества и эффективности ГПТ), по которым и производится сравнение вариантов МС и выбор наилучшей. По результатам четвертого этапа, как правило, приходится возвращаться к третьему и даже ко второму этапам.

Особенностью предложенного автором метода является моделирование выбора пассажиром маршрутов следования по кратчайшим по времени путям на графе беспересадочных поездок, а также возможность выбора подвижного состава из нескольких видов ГПТ. В то же время такие факторы, как неудобство, связанное с пересадками, стоимость поездки, «привлекательность» различных видов транспорта и др., также учитываются при моделировании выбора пассажирами путей следования путем «масштабирования» или введения дополнительных затрат времени на передвижения. Кроме того, автором впервые предложено для процесса получения матрицы корреспонденций зонирование города относительно остановочных пунктов, а не укрупненных транспортных узлов, что существенным образом повышает достоверность получаемых результатов.

В похожем ключе занимался исследованиями в области оптимизации МС ученый Ф.Г. Глик<sup>25</sup> [16], который также предложил метод поэтапного построения МС с последовательным приближением к оптимальному решению. Методика дает возможность прежде всего устанавливать предельно допустимый интервал движения подвижного состава на маршруте, уменьшать величины пересадочности и затраты времени при прокладке маршрутов по кратчайшим путям.

В 1990-х гг. вопросами оптимизации городских МС занимались такие ученые, как П.Ф. Горбачев [17], В.К. Доля<sup>26</sup>, Э.А. Сафро-

<sup>24</sup> Ольховский С.Ю. Исследование и разработка методов совершенствования пассажирской транспортной системы город : дис. ... канд. техн. наук / Ольховский Сергей Юрьевич. М., 1983. 228 с.

<sup>25</sup> Глик Ф.Г. Методика построения маршрутной системы массового пассажирского транспорта // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы VIII Междунар. (XI Екатеринбургской) науч. практ. конф. Екатеринбург : Издательство АМБ, 2002. С. 240–247.

<sup>26</sup> Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупнейших городах : дис. ... д-ра. техн. наук / Доля Виктор Константинович. М., 1993. 301 с.

нов, а также продолжал свои исследования Г.А. Варелопуло<sup>27</sup>.

В работе Э.А.Сафронова<sup>28</sup> отмечается, что если минимизировать уровень обеспеченности жителей города магистральной сетью, повысив, таким образом, удельную загрузку маршрутов, и одновременно снизить до минимума маршрутный коэффициент, будет повышена эффективность функционирования системы ГПТ. Это объясняется тем, что в итоге будет снижена удельная потребность населения в транспортной сети и подвижном составе ГПТ. Потребность в подвижном составе ГПТ снизится по причине того, что рост удельной загрузки маршрутов позволит повысить вместимость подвижного состава ГПТ. Автор отмечает важность увеличения скорости передвижения пассажиров для повышения эффективности работы системы ГПТ. А за рубежом, согласно [18], скорость уже давно заложена в основу уровня качества передвижений пассажиров.

Г.А. Варелопуло предлагает рассчитывать МС по критерию минимизации затрат времени населения на передвижения с использованием ГПТ. Сначала формируется набор кратчайших путей следования от каждого транспортно-го узла до каждого пассажиропоглощающего пункта. Затем из полученных кратчайших путей (цепочек связей) выбирается тот, который содержит наибольшее число адресов. Если обнаруживаются пути, количество адресов в которых совпадает, выбирается путь с наибольшей мощностью пассажиропотока. В случае если находятся пути, имеющие как одинаковое количество адресов, так и мощности пассажиропотока, выбирается путь, меньший по времени. Выбранный путь берется за основание маршрута-кандидата. Далее последовательно в порядке убывания количества адресов, связей просматриваются все пути с общей последовательностью и номерами адресов, совпадающими с какой-либо частью выбранного маршрута-кандидата.

В работе [19] предлагается по результатам оптимизации снизить временные затраты пассажиров на осуществление поездок.

В 2000-х годах с обострением транспортных проблем в городах и нарастанием напряженности на городских магистралях ученые стали посвящать свои работы комплексному изучению и исследованию вопросов оптимизации МС.

Появилось большое количество оптимизационных аппаратов, учитывающих в качестве главного параметра оптимизации перегрузку транспортной сети и позволяющих снижать ее на основе рационализации структуры парка подвижного состава ГПТ по вместимости и количеству<sup>29</sup>.

Усовершенствовались и усложнились программно-вычислительные средства оптимизации МС, что позволило задавать большой набор исходных данных и ограничений для решения поставленной задачи.

Оптимизационные решения стали строиться на принципе системности и формирования комплексного набора показателей качества перевозок [20], учитывать факторы неопределенности и применять логистические подходы [21, 22] для решения проблем функционирования ГПТ с целью обеспечения необходимого уровня качества обслуживания пассажиров и повышения эффективности перевозочного процесса. Так, М.Р. Якимовым<sup>30</sup> разработана «многоуровневая система показателей оценки качества» функционирования городских транспортных систем, при этом набор показателей оценки качества значительно расширен автором.

В рассматриваемый период также стали совершенствоваться оптимизационные модели, позволяющие учитывать противоположные интересы участников системы ГПТ [23, 24, 25, 26, 27]. Так, в работе [23] в качестве критерия, учитывающего противоположные интересы участников системы ГПТ, выступает плотность пассажиропотока на исследуемом участке дороги. Авторы объясняют выбор этого критерия следующим. В результате его максимизация ведет к сокращению уровня пересадочности, что выгодно для пассажира, а также к увеличению пассажиропотока, что увеличивает прибыль перевозчика.

---

<sup>27</sup> Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. М. : Транспорт, 1990. 208 с.

<sup>28</sup> Сафронов Э.А. Научно-методические основы развития системы городского пассажирского транспорта : автореф. дисс. ... докт. техн. наук : 05.22.10 / Сафронов Эдуард Алексеевич. М., 1993. 43 с.

<sup>29</sup> Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов : учебное пособие. Изд-во АСВ, М., 2005. 272 с.

<sup>30</sup> Якимов М.Р. Научная методология формирования эффективной транспортной системы крупного города : дисс. д-ра. техн. наук : 05.22.01 / Якимов Михаил Ростиславович. М., 2011. 46 с.

Ученые стали предлагать метаэвристические методы оптимизации МС ГПТ и делать акцент на их перспективность. В связи с этим эвристические методы, получившие развитие в начале 60-х гг. прошлого века, уже называют классическими. При этом отмечается, что метаэвристические методы являются более качественными, поскольку они способны преодолеть точку локального оптимума для продолжения поиска оптимального решения и, таким образом, не являются законченными эвристиками. Так, в работах [23, 28, 29] предлагается метаэвристический алгоритм муравьиных колоний для оптимизации МС. Согласно этому алгоритму, автобусы могут рассматриваться как колонии муравьев, начальные остановочные пункты – как гнезда, из которых муравьи начинают свой путь, конечные остановочные пункты – как источник пищи для муравьев. В результате задача оптимизации МС сводится к процессу поиска муравьиными колониями пищи по феромонам, т.е. поиска оптимальных автобусных маршрутов от начального остановочного пункта к конечному с учетом плотности пассажиров прямого сообщения (собственно, критерий оптимизации). Однако недостаток этого алгоритма заключается в рассмотрении только автобусных маршрутов как потенциально возможных, т.е. в невозможности учета привлекательности различных видов ГПТ. В то же время несомненным достоинством предложенного авторами метода является то, что при получении матрицы корреспонденций, необходимой для реализации описанного алгоритма, зонирование города предлагается производить относительно остановочных пунктов, а не укрупненных транспортных узлов. При этом описана возможность автоматизированного получения искомой информации с помощью данных электронных карт.

В работах [26, 27] предложен генетический алгоритм в составе метаэвристических методов оптимизации МС ГПТ как способ управления нелинейными функциями в процессе решения сложных задач управления городскими пассажирскими перевозками.

Ученый М.В. Хрущев продолжил развивать методику института НИИАТ. В его работе<sup>31</sup> критерием оптимальности МС выступает минимум суммарных временных затрат населения на передвижения с использованием транспорта. Стоит отметить, что данный критерий при-

меняется при заданном ограниченном количестве подвижного состава ГПТ на маршрутах, однако на сегодняшний день в качестве альтернативы ограниченному количеству подвижного состава ГПТ на маршрутах выступает выход на рынок частных перевозчиков, в связи с чем данная методика для настоящих условий организации перевозок пассажиров в городе может быть мало применима. Также в процессе оптимизации при очередном добавлении маршрутов пересчитываются все показатели, хотя достаточно только пересчитывать тот критерий, который выступает в качестве определяющего.

Анализ работ рассматриваемого периода показывает, что методы оптимизации МС ГПТ отличаются по двум основным критериям качества перевозочного процесса: одни авторы в качестве главного критерия определяют сокращение временных затрат пассажиров на передвижения, другие – сокращение количества пересадок и непрямолинейности маршрута.

В странах Европейского союза и США уже давно развита система небольшого количества маршрутов и, как следствие, высокого уровня коэффициента пересадочности. При этом сохранение нормальных условий для пользования пассажирами ГПТ обеспечивается за счет массового внедрения системы зонно-повременных пересадочных тарифов (в России эта система не развита).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Более чем за 100 лет накоплено множество методов оптимизации городских МС. С течением времени многие из них дорабатывались, совершенствовались, появлялись качественно новые методы. Если первые из них не имели формализованной математической постановки и четких рекомендаций к процессу оптимизации МС, то в дальнейшем стали активно развиваться эвристические методы, моделирование стало базироваться на применении прикладных экономико-математических методов и автоматизированных систем обработки информации. А в дальнейшем стали предлагаться метаэвристические методы оптимизации МС ГПТ, которые, по мнению их авторов, помогают находить более оптимальные решения. Кроме того, развитие современных программно-вычислительных средств позво-

<sup>31</sup> Хрущев М.В. Исследование методов маршрутизации автобусного транспорта в городах : дис. ... д-ра экон. Наук : 08.00.05 / Хрущев Михаил Владимирович. М., 2000. 206 с.

ляет учитывать целый набор исходных данных и ограничений к процессу оптимизации МС, а также применять сложные математические модели.

Таким образом, в результате настоящего исследования можно сформулировать следующие особенности, характерные для процесса оптимизации МС ГПТ:

1. Оптимизация МС ГПТ невозможна без предварительного получения матрицы пассажирских корреспонденций.

2. Процессу оптимизации МС ГПТ должен предшествовать процесс сбора большого количества исходных данных.

3. Задачу оптимизации МС усложняет расхождение интересов перевозчиков и пассажиров в системе ГПТ. Многие современные ученые пытаются учитывать это расхождение интересов при разработке методов оптимизации городских МС.

4. При современном развитии методов оптимизации МС ГПТ невозможно обойтись без применения соответствующих сложных программно-вычислительных комплексов, но в то же время необходимы заключительные оценки экспертов-проектировщиков.

5. Процесс оптимизации МС ГПТ как таковой требует задания целевой функции при заданном наборе ограничений.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что точных оптимизационных моделей построения МС ГПТ на сегодняшний день не существует. Это связано прежде всего с тем, что процесс перевозки пассажиров в городах имеет множество факторов неопределенности и стохастичности и является достаточно сложным, включая в себя целый комплекс исходных данных. Таким образом, задача оптимизации МС ГПТ носит комбинаторный характер.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленная в начале исследования цель достигнута. Авторами изучены и проанализированы в хронологическом порядке известные на сегодняшний день методы оптимизации МС. На основе полученного анализа можно сделать вывод, что наука в исследуемой области продолжает развиваться главным образом за счет совершенствования математических моделей и программно-вычислительных средств оптимизации МС ГПТ. Определены особенности процесса оптимизации городских МС. Авторы считают, что в современных условиях функционирования ГПТ процесс оптимизации городской МС должен учитывать как интересы

пассажира, так и интересы перевозчиков. В таком случае процесс оптимизации МС позволит повысить эффективность функционирования системы ГПТ в целом.

Представленный в исследовании анализ методов оптимизации МС ГПТ может быть полезен в процессе дальнейшего развития науки в исследуемой области. Выявленные особенности развития методов оптимизации МС ГПТ могут быть использованы в качестве основы как для теоретических разработок в области оптимизации МС ГПТ, так и для практической реализации процесса оптимизации МС ГПТ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурлуцкий А.А. Анализ опыта формирования оптимальных маршрутных схем городского пассажирского транспорта // Вестник ТГАСУ. 2013. №2. С. 371–380.

2. Мартынова Ю.А. Анализ опыта проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 2 (21). С. 1–10.

3. Федоров В.А. К вопросу о возможности оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта в мегаполисах // Молодой ученый. 2015. № 2 (82). С. 331–333.

4. Кочегурова Е.А., Мартынова Ю.А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия Томского политехнического университета. 2013. № 5. Т. 323. С. 79–84.

5. Геронимус, Б.Л., Джумаев Д.Д., Коноплин В.В. Расчет рациональной схемы автобусных маршрутов // Автомобильный транспорт. 1966. № 9. С. 20–21.

6. Хрущёв М. В., Антошвили М. Е. Определение оптимальных схем автобусных маршрутов в городах // Бюллетень Организации сотрудничества железных дорог. Варшава, 1970. С. 28 – 31.

7. Джваршейшвили Т.М., Ломидзе Н.Н., Цомаея Г.Г., Цулукидзе Т.В. Моделирование пассажирской транспортной системы города с применением методов эвристического программирования // Проблемы и перспективы развития АТ крупных городов: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. М., 1981. С. 227–229.

8. Кирзнер Ю.С. Исследование возможностей корректировки маршрутных систем на основе оценки их качества // Совершенствование перевозок пассажиров АТб : науч. тр. / НИИАТ. М., 1980. С. 70–79.

9. Кирзнер Ю.С. Совершенствование маршрутных систем и стоимостная оценка продолжительности передвижений пассажиров // *Город и транспорт*. М., 1979. С. 24–27.
10. Макаров И.П., Яворский В.В. Модели проектирования сети маршрутов городского пассажирского транспорта // *Моделирование процессов управления транспортными системами: тез. докл. Всесоюзн. конф. Владивосток, 1977*. С. 92–95.
11. Мартынов В.А., Мирицкий Л.Б. Градостроительная проблема проектирования маршрутной системы городского пассажирского транспорта (на примере г. Минска) // *Комплексное развитие АТ крупных городов: тез. докл. II Всесоюзн. науч.-техн. конф. М., 1981*. С. 145–147.
12. Пискорский Л.Ф., Закиров А. Трассирование линий метрополитена поисковыми методами на плане города // *Вопросы вычислительной и прикладной математики*. Ташкент, 1977. Вып. 48. С. 81–86.
13. Рубец А.Д. Развитие методов оптимизации схемы городских автобусных маршрутов // *Совершенствование перевозок пассажиров АТ: сб. науч. статей / НИИАТ*. М., 1979. С. 55–62.
14. Яворский В.В. Модели и алгоритмы проектирования сети городского С. 93–102.
15. Rapp M.H., Mattenberger P., Piguet S., Robert-Grandpiezre A. Interactive graphics systems for transit route optimization. *Transp. Res. Rec.*, 1976, No. 559, p. 73–88.
16. Глик Ф.Г. Интерактивное конструирование маршрутной системы городского пассажирского транспорта // *Градостроительство*. Вып. 39. Киев: Будівельник, 1987, С. 100–106.
17. Горбачев П.Ф., Доля В.К. Формирование рациональной схемы маршрутов пассажирского транспорта в крупнейших городах // *Передовой производственный опыт и научно-технические достижения, рекомендации для внедрения на АТ : информ. Сб. Мин-ва автомоб. трансп. РСФСР.М.: ЦБНТИ, 1990*. С. 8–12.
18. Sutaria, T.C., I. Haynes. Relation of Signalized Intersection Level of Service to Failure Rate and Average Individual Delay. // *Highway Res. Rec.*, 1970. no. 321. P. 107–113.
19. Pattnaik S.B., Mohan S., Tom V.M. Urban bus transit route network design using genetic algorithm // *Journal of Transportation Engineering*. 1998. V. 124 (4). P. 368–375.
20. Федоров М.П., Ерихов М.М., Знаменский Д.Н. Системное обоснование критерия оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта // *Автотранспортное предприятие*. 2010. № 4. С. 32–34.
21. Болтенко Ю.А. Модель логистической системы общественного пассажирского транспорта // *Молодой ученый*. 2016. № 26 (130). С. 17–20.
22. Нгуен Тхи Тху Хыонг, Рябов И.М. Особенности логистики общественного пассажирского транспорта г. Ханоя // *Символ науки*. 2018. № 6. С. 53–59.
23. Кочегурова Е.А., Мартынов Я.А., Мартынова Ю.А., Цапко С.Г. Алгоритм муравьиных колоний для задачи проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // *Вестник СибГУТИ*. 2014. № 3. С. 89–100.
24. Nallusamy R., Duaiswamy K., Dhanalaksmi R. Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms // *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2009. V. 1 (3). P. 129–135.
25. Bachelet B., Yon L. Enhancing theoretical optimization solutions by coupling with simulation // *Proceeding of the 1st OICMS, Clermont-Ferrand. France, 2005*. P. 331–342.
26. Afandizadeh Sh., Khaksar H., Kalantari N. Bus fleet optimization using genetic algorithm a case study of Mashhad // *International Journal of Civil Engineering*. 2012. V. 11. P. 43–52.
27. Лебедева О.А. Оптимизация маршрутной сети городского общественного транспорта // *Вестник АНГТУ*. 2018. № 12. С. 185–188.
28. Zhongzhen Ya., Bin Yu, Chuntian Ch. Parallel ant colony algorithm for bus network optimization // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2007. no. 22. pp. 44–55.
29. Yu B., Yang Z. Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm // *In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005. no. 5 pp. 374–389.

## REFERENCES

1. Burluckij A.A. Analiz opyta formirovaniya optimal'nyh marshrutnyh shem gorodskogo passazhirskogo transporta [Analysis of experience of the optimum route schemes formation of city passenger transport]. *Vestnik TGASU*, 2013; 2: 371–380 (in Russian).
2. Martynova Ju.A. Analiz opyta proektirovaniya racional'nyh marshrutnyh setej gorodskogo passazhirskogo transporta [Analysis of experience of the rational route networks design of city passenger transport]. *Internet-zhurnal NAUKOVEDENIE*, 2014; 2(21): 1–10 (in Russian).
3. Fedorov V.A. K voprosu o vozmozhnosti optimizacii marshrutnoj seti gorodskogo passazhirskogo transporta v megapolisah [To

the question of the possibility of optimizing the route network of urban passenger transport in metropolitan areas]. *Molodoj uchenyj*, 2015; 2(82): 331–333 (in Russian).

4. Kochegurova E.A., Martynova Ju.A., Optimizacija sostavlenija marshrutov obshhestvennogo transporta pri sozdanii avtomatizirovannoj sistemy podderzhki prinjatija reshenij [Optimization of drawing up routes of public transport during creation of the automated system of decision-making support]. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 2013; 5(323): 79–84 (in Russian).

5. Geronimus, B.L., Dzhumaev D.D., Konoplin V.V. Raschet racional'noj shemy avtobusnyh marshrutov [Calculation of the rational scheme of bus routes]. *Avtomobil'nyj transport*, 1966; 9: 20–21 (in Russian).

6. Hrushh'ov M. V., Antoshvili M. E. Opredelenie optimal'nyh shem avtobusnyh marshrutov v gorodah [Definition of optimum schemes of bus routes in the cities]. *Bjulleten' Organizacii sotrudnichestva zheleznyh dorog*, 1970; Varshava: 28–31 (in Russian).

7. Dzhvarshejshvili T.M., Lomidze N.N., Comaja G.G., Culukidze T.V. Modelirovanie passazhirskoj transportnoj sistemy goroda s primeneniem metodov jevristsicheskogo programmirovaniya [Modeling of the city passenger transport system with application of the heuristic programming methods]. V kn. *Problemy i perspektivy razvitiya AT krupnyh gorodov: tez. dokl. Vsesojuzn. nauch.-tehn. konf. Moscow*, 1981; 227–229 (in Russian).

8. Kirzner Ju.S. Issledovanie vozmozhnostej korrekcirovki marshrutnyh sistem na osnove ocenki ih kachestva [Research of opportunities of the route systems correction on the basis of quality assessment]. V kn. *Sovershenstvovanie perevozok passazhirov AT. Sb. nauch. tr. NIIAT. Moscow*, 1980; 70–79 (in Russian).

9. Kirzner Ju.S. Sovershenstvovanie marshrutnyh sistem i stoimostnaja ocenka prodolzhitel'nosti peredvizhenij passazhirov [Improvement of route systems and cost assessment of the passengers' movement duration]. V kn. *Gorod i transport. Moscow*, 1979; 24–27 (in Russian).

10. Makarov I.P., Javorskij V.V. Modeli proektirovaniya seti marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta [Models of the network routes design of city passenger transport]. V kn. *Modelirovanie processov upravleniya transportnymi sistemami. Tez. dokl. Vsesojuzn. konf. Vladivostok*, 1977; 92–95 (in Russian).

11. Martynov V.A., Mirickij L.B. Gradostroitel'naja problema proektirovaniya

marshrutnoj sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta (na primere g. Minska) [Town-planning problem of design of a route system of city passenger transport (on the example of Minsk)]. V kn. *Kompleksnoe razvitie AT krupnyh gorodov: tez. dokl. P Vsesojuzn. nauch.-tehn. konf. Moscow*, 1981; 145–147 (in Russian).

12. Piskorskij L.F., Zakirov A. Trassirovanie linij metropolitena poiskovymi metodami na plane goroda [Tracing of the subway lines by search methods on city map]. V kn. *Voprosy vychislitel'noj i prikladnoj matematiki. Tashkent*, 1977; 48: 81–86 (in Russian).

13. Rubec A.D. Razvitie metodov optimizacii shemy gorodskih avtobusnyh marshrutov [Development of the optimization methods of the city bus routes]. V kn. *Sovershenstvovanie perevozok passazhirov AT: sb. nauch. Statej. NIIAT. Moscow*, 1979; 55–62 (in Russian).

14. Javorskij V.V. Modeli i algoritmy proektirovaniya seti gorodskogo passazhirskogo transporta [Models and algorithms of the network design of city passenger transport]. V kn. *Problemy postroenija ASU na transporte. Kiev*, 1976; 93–102 (in Russian).

15. Rapp M.H., Mattenberger P., Piguet S., Robert-Grandpiezre A. Interactive graphics systems for transit route optimization. *Transp. Res. Rec.*, 1976; 559: 73–88.

16. Glik F.G. Interaktivnoe konstruirovanie marshrutnoj sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta [Interactive designing of a route system of city passenger transport]. *Gradostroitel'stvo. Vyp. 39. Kiev: Budivel'nik*, 1987; 100–106 (in Russian).

17. Gorbachev P.F., Dolja V.K. Formirovanie racional'noj shemy marshrutov passazhirskogo transporta v krupnejshih gorodah [Formation of a rational scheme of passenger transport routes in major cities]. *Peredovoj proizvodstvennyj opyt i nauchno-tehnicheskie dostizhenija, rekomendacii dlja vnedrenija na AT. Inform. sbornik Min-vo avtomob. transp. RSFSR. Moscow, CBNTI*, 1990; 8–12 (in Russian).

18. Sutaria, T.C., I. Haynes. Relation of Signalized Intersection Level of Service to Failure Rate and Average Individual Delay. *Highway Res. Rec.*, 1970; 321: 107–113.

19. Pattnaik S.B., Mohan S., Tom V.M. Urban bus transit route network design using genetic algorithm. *Journal of Transportation Engineering*. 1998; 124(4): 368–375.

20. Fedorov M.P., Erihov M.M., Znamenskij D.N. Sistemnoe obosnovanie kriterija optimizacii marshrutnoj seti gorodskogo passazhirskogo transporta [System justification of the optimization

criterion of the city passenger transport route network]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2010; 4: 32–34 (in Russian).

21. Boltenko Ju.A. Model' logisticheskoy sistemy obshhestvennogo passazhirskogo transporta [Model of a logistics system of public passenger transport]. *Molodoj uchenyj*, 2016; 26(130): 17–20 (in Russian).

22. Nguen Thi Thu Hyong, Rjabov I.M. Osobennosti logistiki obshhestvennogo passazhirskogo transporta g. Hanoja [Features of logistics of Hanoi public passenger transport]. *Simvol nauki*, 2018; 6: 53–59 (in Russian).

23. Kochegurova E.A., Martynov Ja.A., Martynova Ju.A., Sapko S.G. Algoritm murav'inyh kolonij dlja zadachi proektirovaniya racional'nyh marshrutnyh setej gorodskogo passazhirskogo transporta [Algorithm of ant colonies for a problem of design of rational route networks of city passenger transport]. *Vestnik SibGUTI*, 2014; 3: 89–100 (in Russian).

24. Nallusamy R., Duaiswamy K., Dhanalaksmi R. Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2009; 1(3): 129–135.

25. Bachelet B., Yon L. Enhancing theoretical optimization solutions by coupling with simulation. *Proceeding of the 1st OICMS, Clermont-Ferrand, France*, 2005; 331–342.

26. Afandizadeh Sh., Khaksar H., Kalantari N. Bus fleet optimization using genetic algorithm a case study of Mashhad. *International Journal of Civil Engineering*, 2012; 11: 43–52.

27. Lebedeva O.A. Optimizacija marshrutnoj seti gorodskogo obshhestvennogo transporta [Optimization of route network of city public transport]. *Vestnik AnGTU*, 2018; 12: 185–188 (in Russian).

28. Zhongzhen Ya., Bin Yu, Chuntian Ch. Parallel ant colony algorithm for bus network optimization. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2007; 22: 44–55.

29. Yu B., Yang Z. Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2005; 5: 374–389.

**Поступила 15.02.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Мочалин Сергей Михайлович – д-р техн. наук, проф., декан факультета «Экономика и управление», заведующий кафедрой «Логистика», ORCID: 0000-0003-3651-0961, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: mochalin\_sm@mail.ru).*

*Коллебер Юлия Андреевна – аспирантка кафедры «Логистика», ORCID: 0000-0002-6844-1895, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: uljachabol@mail.ru).*

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Sergey M. Mochalin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Economics and Management Faculty, Head of the Logistic Department, ORCID: 0000-0003-3651-0961, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: mochalin\_sm@mail.ru).*

*Julia A. Koleber – Postgraduate Student of the Logistic Department, ORCID: 0000-0002-6844-1895, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: uljachabol@mail.ru).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Мочалин С.М. Рекомендации по исследованию материалов. Формирование разделов: «Введение», «Результаты» (1/2), «Обсуждение и заключение» (1/2). Проверка и корректура статьи.*

*Коллебер Ю.А. Исследование и анализ материалов. Формирование разделов: «Аннотация», «Материалы и методы», «Результаты» (1/2), «Обсуждение и заключение» (1/2). Оформление готового варианта статьи.*

## AUTHORS' CONTRIBUTION

*Sergey M. Mochalin – recommendations for the materials' research; formation of such sections as Introduction, Results (1/2), Discussion and Conclusions (1/2); manuscript's verification and correction.*

*Julia A. Koleber – materials research and analysis; formation of such sections as Abstract, Materials and Methods, Results (1/2), Discussion and Conclusions (1/2); formatting of the finished manuscript's version.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

С.Н. Павлов\*, Ю.В. Павлова

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
г. Барнаул, Россия  
\*sergei\_pavl@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В России актуальной проблемой является аварийность на пешеходных переходах. В данной работе было проведено исследование условий освещенности на нерегулируемых пешеходных переходах в темное время суток с целью повышения их безопасности и выявления соответствия освещенности действующим нормативам. Международными и российскими исследователями указывается большая роль обеспечения видимости пешеходов в темное время суток. Увеличение освещенности проезжей части улучшает заметность пешеходов в ночное время, особенно на пешеходных переходах. Мировая практика показывает, что после улучшения освещения дороги количество ДТП с участием пешеходов снижается.

**Материалы и методы.** Для рассмотрения были выбраны нерегулируемые пешеходные переходы, являющиеся очагами аварийности в темное время. Для измерения уровня освещенности использовался люксметр «Victor 1010A». Измерения проводились в темное время суток в ясную погоду без осадков, когда было включено искусственное освещение.

**Результаты.** В результате исследования было выявлено, что освещенность на пешеходных переходах, а особенно на подходах к ним, не соответствует нормативным значениям, несмотря на наличие искусственного освещения. Освещенность на подходах важна для раннего обнаружения пешеходов водителями и своевременной остановки для их пропуска.

**Обсуждение и заключение.** Даны рекомендации по устранению недостаточной видимости на рассматриваемых пешеходных переходах, а также обоснована необходимость контроля уровня освещенности на всех нерегулируемых пешеходных переходах и на подходах к ним.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** пешеходный переход, освещенность, безопасность пешеходов, люксметр, недостаточная видимость, аварийность.

© С.Н. Павлов, Ю.В. Павлова



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# LIGHTING ON UNREGULATED PEDESTRIAN CROSSING

S.N. Pavlov\*, Yu.V. Pavlova

Altai State Technical University named after I.I. Polzunov,  
Barnaul, Russia

\*sergei\_pavl@mail.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The actual problem in Russia is the accident rate at pedestrian crossings. The authors conduct the research about the lighting conditions on unregulated pedestrian crossings to improve safety and to identify compliance with current regulations. Moreover, International and Russian researchers point out a large role in ensuring visibility of pedestrians. Increasing of the roadway lightness improves the visibility of pedestrians at night, especially at pedestrian crossings. In addition, world practice shows that after improving the road lighting the number of accidents with pedestrians decreases.

**Materials and methods.** The authors selected unregulated pedestrian crossings, which were the sources of accidents in dark period. The light level was measured using a Victor 1010A light meter. The authors carried out the dimensions at night in clear weather without precipitation, when artificial lighting was turned on.

**Results.** The research revealed that the lighting at pedestrian crossings and especially at the crossings' approaches did not correspond to standard values even with the artificial lighting. Therefore, the lighting on approaches was important for early pedestrians' detection by drivers.

**Discussion and conclusions.** As a result, the authors present the recommendations for the insufficient visibility's elimination at the pedestrian crossings. The authors also justify the need to control the lighting level at all unregulated pedestrian crossings and approaches to them.

**KEYWORDS:** pedestrian crossing; lighting; pedestrian safety; light meter; insufficient visibility; accident rate.

© S.N. Pavlov, Yu.V. Pavlova



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

### ВВЕДЕНИЕ

В России с каждым годом увеличивается количество ДТП с участием пешеходов, что наносит огромный урон как регионам, так и стране в целом. Виновными в большинстве случаев называют водителей, но не только они ответственны за сложившуюся ситуацию, ведь не всегда возможно предугадать появление пешехода на проезжей части. Меры по организации дорожного движения, которые сейчас применяются для повышения безопасности, способствуют снижению ДТП, но число пострадавших по-прежнему остается высоким.

Можно выделить две причины возникновения ДТП с участием пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах:

1) недостаточная видимость знаков «пешеходный переход» и разметки «зебра»;

2) недостаточная видимость пешехода водителем в темное время суток, что происходит вследствие отсутствия дополнительного освещения зоны пешеходного перехода, а также отсутствия световозвращающих элементов на одежде пешехода и плохого обзора пешеходного перехода.

Одной из основных проблем является недостаточная видимость пешехода на дороге, особенно это касается темного времени суток. Ночью происходит 39,5% наездов, утром на 10% меньше, а 69,1% пострадавших в это время гибнет<sup>1</sup>. Расположение на участке улицы объектов притяжения людей является одним из факторов, влияющих на уровень опасности нерегулируемого пешеходного перехода [1].

Целью данного исследования является анализ условий освещенности на пешеходных переходах и на подходах к ним для разработки мероприятий, повышающих безопасность пешеходов.

Немаловажными являются и субъективные причины травматизма, связанные с культурой, воспитанием, законоприменительной практикой, в частности то, что пешеход неверно оценивает свою собственную видимость на дороге водителями транспортных средств. Неосторожность пешехода и его неверная оценка возможности автомобиля затормозить влечёт за собой неожиданные выходы пешехода на проезжую часть из-за стоящих транспортных средств, а также сооружений и зеленых насаждений, что приводит к ДТП.

Доклад Всемирной организации здравоохранения предлагает следующие мероприятия по улучшению видимости пешеходов в темное время суток:

1. Оборудование пешеходных переходов, например сооружение приподнятых островков безопасности и установку светофоров.

2. Организация уличного освещения и/или освещение перекрестков. Увеличение освещенности проезжей части улучшает заметность пешеходов в ночное время, особенно на пешеходных переходах. Например, результаты исследования в Австралии показали, что после улучшения освещения дороги количество ДТП с участием пешеходов снизилось на 59%.

3. Устранение или перемещение физических объектов, ухудшающих заметность пешеходов, например деревьев и больших рекламных щитов, из-за которых водителям трудно увидеть пешехода. Альтернативный вариант – использование расширений бордюров для того, чтобы пешеходы попали туда, где они будут лучше видны до начала перехода ими дороги, а также чтобы обеспечить пешеходам лучшую видимость транспортных средств. При этом возникают дополнительные преимущества благодаря сокращению расстояния, которое пешеходам необходимо преодолеть при переходе дороги, и сужению дорожного полотна, что может привести к снижению скорости транспортных средств.

4. Установка дорожных знаков, предупреждающих водителей о том, что здесь улицу могут переходить пешеходы. Там, где пешеходов мало, может быть целесообразной установка дорожных сигналов, активируемых самими пешеходами.

5. Улучшение видимости пешеходов. Пешеходы должны знать, что водители могут просто не увидеть их в условиях плохой освещенности или в темноте, особенно если пешеходы носят темную одежду. Основные методы, позволяющие улучшить видимость пешеходов – это ношение ими светлой одежды, а также использование отражательных элементов на рюкзаках, обуви и одежде.

6. Повышение информированности пешеходов и водителей (с помощью публичных объявлений и других выступлений в СМИ) о значимости хорошей видимости пешеходов, особенно в ночное время<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Проблемы пешеходных переходов и первоочередные меры для обеспечения безопасности пешеходов России [Электронный ресурс]. URL: <https://гибдд.рф/document/402>.

<sup>2</sup> Безопасность пешеходов: руководство по безопасности дорожного движения для руководителей и специалистов : Изд-во «Всемирная организация здравоохранения», 2013. 144 с.

Как видно из доклада, для повышения безопасности движения на пешеходных переходах важное значение имеют условия освещенности. Освещение пешеходных переходов может осуществляться разными способами: от более простого варианта, посредством размещения светодиодных светильников и ламп магистрального и уличного освещения по бокам (либо непосредственно над проезжей частью пешеходной зоны), до более сложного, включающего в себя комплексы, заблаговременно предупреждающие водителей о наличии пешеходного перехода<sup>3,4,5</sup> [2, 3, 4, 5, 6].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе были исследованы условия освещенности пешеходных переходов в г. Барнауле, выбраны типичные нерегулируемые пешеходные переходы с произошедшими на них ДТП, а именно: с расположением опоры светильников на разделительной полосе с трамвайными путями и при одностороннем освещении многополосной дороги (таблицы 1 и 2).

Исходя из данных, приведенных в таблицах 1 и 2, можно сделать вывод, что наибольшее число ДТП с пострадавшими пешеходами произошло в темное время суток.

В работе были проведены измерения освещенности на нерегулируемых пешеходных переходах в темное время суток в ясную погоду без осадков, когда было включено искусственное освещение.

Для установления численных значений освещенности использовался люксметр «Victor 1010A» – портативный прибор для измерения освещенности в люксах, одна из разновидностей фотометров. Сам люксметр состоит из селенового фотоэлемента, который преобразует световую энергию в энергию электрического тока и измеряет этот фототок. Кривые относительной спектральной чувствительности селенового фотоэлемента и среднего человеческого глаза неодинаковы, поэтому показатели люксметра зависят от спектрального состава излучения<sup>6</sup>.

Проведение измерения освещенности представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Проведение измерения освещенности с помощью люксметра «Victor 1010A»

Figure 1 – Light measurement by Victor 1010A light meter

В соответствии с ГОСТ Р 55844–2013 «Освещение наружное утилитарное дорог и пешеходных зон. Нормы» включение наружных осветительных установок следует проводить в вечерние сумерки при снижении естественной освещенности до 20 лк, а отключение – в утренние сумерки при естественной освещенности до 10 лк.

Переключение освещения транспортных тоннелей с дневного на ночной режим и обратно следует проводить при достижении естественной освещенности 100 лк.

Доля действующих светильников, работающих в вечернем и ночном режимах, должна составлять не менее 95%. При этом, согласно СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», не допускается расположение неработающих светильников подряд, один за другим.

Средняя освещенность на пешеходном переходе должна быть не менее 20 лк, а при значении минимальной освещенности – не менее 6 лк.

<sup>3</sup> Peden M. et al., eds. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма. Женева, Всемирная организация здравоохранения, 2004 URL: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/publications/road\\_trafc/world\\_report/gw/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_trafc/world_report/gw/), по состоянию на 28 марта 2019 г.

<sup>4</sup> Доклад о состоянии безопасности дорожного движения в мире 2015 г. Резюме на русском языке. Женева, Всемирная организация здравоохранения, 2015. [https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/GSRRS2015\\_Summary\\_RU.pdf?ua=1](https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/GSRRS2015_Summary_RU.pdf?ua=1), по состоянию на 28 марта 2019 г.

<sup>5</sup> Основы управления автомобилем и безопасность дорожного движения: учебное пособие / В. И. Коноплянко [и др.]. М. : Высш. шк., 2005. 271 с.

<sup>6</sup> Люксметр, инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: <http://print/lyuksmetry/item/victor1010a>.

Таблица 1  
Аварийность на пешеходном переходе с освещением на разделительной полосе по дням недели и времени суток

Table 1  
Accident at a pedestrian crossing with the dividing strip lighting by days of the week and time

Дата	Время	День недели	Ранено всего	Ранено детей	Погибло	Время суток
03.07.2016	18:08	Вс	1	1	0	темное
24.09.2016	19:50	Сб	1	1	0	темное
23.10.2016	12:50	Вс	1	1	0	светлое
16.11.2016	7:25	Ср	0	0	1	темное
09.12.2016	19:20	Пт	1	0	0	темное
03.02.2017	9:50	Пт	1	0	0	светлое
29.09.2017	20:30	Сб	1	0	0	темное
30.09.2017	20:30	Пт	1	0	0	темное

Таблица 2  
Аварийность на пешеходном переходе с односторонним освещением по дням недели и времени суток

Table 2  
Accident at a pedestrian crossing with one-sided lighting by days of the week and time

Дата	Время	День недели	Ранено всего	Ранено детей	Погибло	Время суток
12.07.2015	22:00	Вс	1	0	0	темное
25.09.2015	19:25	Пт	1	0	0	темное
01.12.2015	19:00	Вт	1	0	0	темное
25.02.2016	6:50	Ср	1	0	0	темное
27.10.2016	9:00	Чт	1	0	0	светлое
27.03.2017	19:10	Пн	1	0	0	темное
27.08.2017	16:12	Вс	1	0	0	светлое
19.10.2017	7:20	Чт	1	0	0	темное

При проектировании освещения конфликтных участков значения освещенности на дорожном покрытии, ее равномерность и слепящее действие должны соответствовать классу по освещению основной дороги.

Видимость пешеходного перехода и обозначающего его дорожного знака водителями приближающихся автомобилей должна быть обеспечена на расстоянии не менее 140 м для магистральных улиц общегородского значения, 100 м для магистральных улиц районного значения и 75 м для улиц местного значения<sup>7</sup> [7].

При несоответствии освещенности норма-

тивным значениям на пешеходном переходе требуется замена светильников или увеличение количества опор [8, 9, 10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты замеров освещенности представлены на рисунках 3 и 4.

Среднее значение освещенности на пешеходном переходе с размещением светильников на разделительной полосе составляет 14,9 лк, при минимальном значении освещенности – 1,8 лк, что не соответствует нормативным значениям (рисунок 2).

<sup>7</sup> Освещение пешеходных переходов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kb-spectech.ru/projects8.html>.

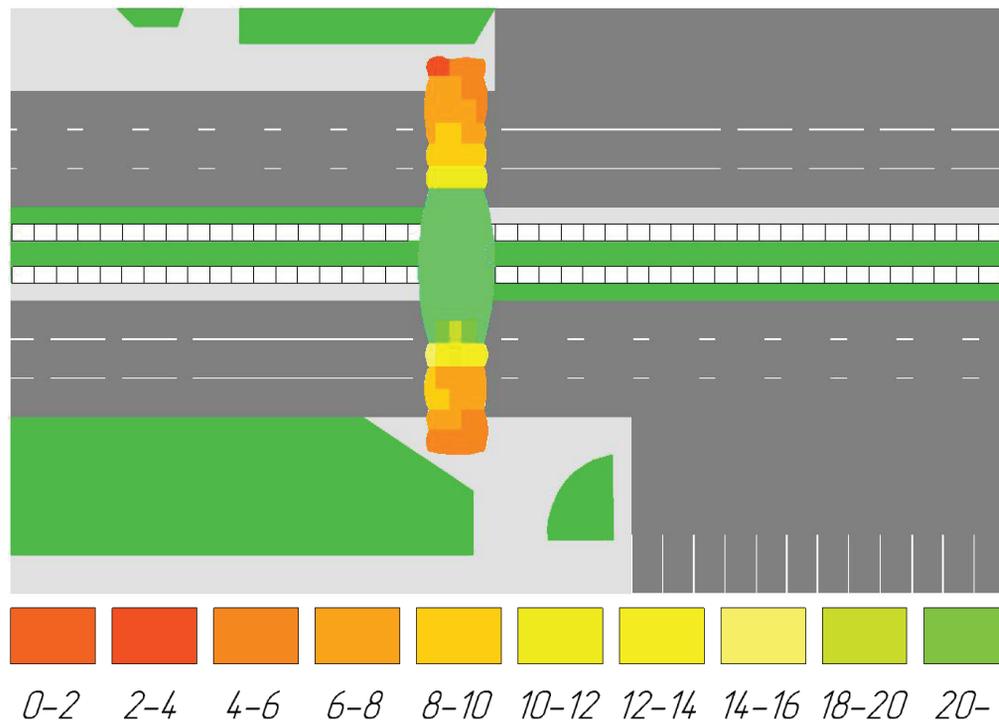


Рисунок 2 – Освещенность исследуемого пешеходного перехода с размещением светильников на разделительной полосе (лк)

Figure 2 – Pedestrian crossing lighting with the lamps on the dividing strip (lux)

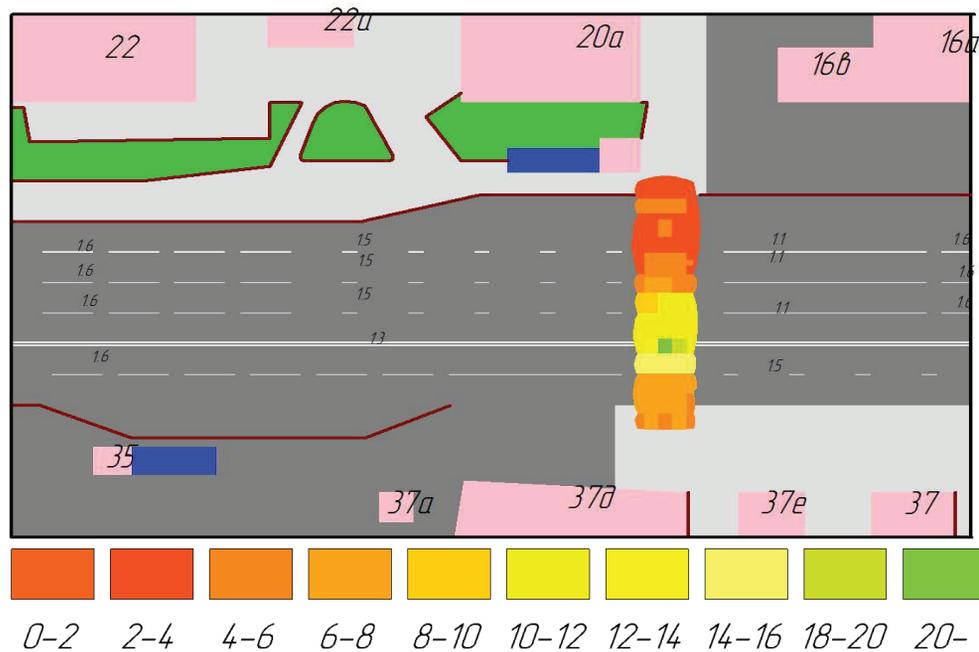


Рисунок 3 – Освещенность пешеходного перехода с односторонним размещением светильников на многополосной дороге (лк)

Figure 3 – Pedestrian crossing lighting with the one-sided lamps on the multi-lane road (lux)

Среднее значение освещенности на пешеходном переходе с односторонним размещением светильников на многополосной дороге

составляет 7,8 лк, при минимальном значении освещенности – 0 лк, что также не соответствует нормативным значениям (см. рисунок 3).

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что даже при наличии уличного освещения необходимо контролировать уровень освещенности пешеходных переходов и подходов к ним. На рассматриваемых пешеходных переходах можно предложить увеличение числа светильников или замену их на те, которые обеспечат нормативные значения по уровню освещенности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов С.Н., Некрасова М.А., Павлова Ю.В. Исследование влияния крупных торговых центров на транспортные и пешеходные потоки // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2017. Т. 4. № 1 (7). С. 85–88.
2. Гайфуллин В.М. О проблеме обеспечения видимости на нерегулируемых пешеходных переходах // Вестник ОГУ. 2011. № 10 (129). С. 79–80
3. Симуль М.Г., Порхачева С.Г. Влияние некоторых факторов на соблюдение водителями правил проезда пешеходных переходов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. №1(79). С. 8–9.
4. Паузков А.В. О снижении задержек транспорта в зоне пешеходных переходов (на примере г. Оренбурга) // Вестник ОГУ. 2011. №10 (129). С. 64–69.
5. Чекалина С.Л., Прокофьева О.С., Елфимова Н.А. Конфликт транспортных и пешеходных потоков в зонах нерегулируемых перекрестков // Молодежный вестник ИрГТУ. 2018. том 8. № 4. С. 38–43.
6. Чекалина С.Л., Елфимова Н.А. Исследование влияния конфликтных ситуаций на изменение скорости транспортных потоков в зонах нерегулируемых перекрестков // Вестник ИрГТУ. 2018. том 21. № 8 (127). С. 38–43.
7. Рябоконт Ю.А., Симуль М.Г. Конфликтные ситуации и дорожная аварийность с участием пешеходов на городских магистралях // Вестник СибАДИ. 2011. № 3(21). С. 19–21.
8. Горбачев С.В., Гришина Т.С. Освещенность и безопасность движения на наземных пешеходных переходах // Вестник НЦБЖД. 2011. № 4 (10). С. 32–35.
9. Полосухина М.В., Красникова Д.А. Интеллектуальные системы уличного освещения для повышения безопасности движения на пешеходных переходах // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория

и практика. Издательство ВГЛУ. 2016. № 5–3 (25–3). С. 133–137.

10. Коновалова Т.В., Афанасьев О.В. Влияние освещенности и яркости проезжей части на безопасность дорожного движения в городах в темное время суток // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. Издательство Пермский НИПУ. 2013. №2. С. 61–71.

### REFERENCES

1. Pavlov S.N. Issledovaniye vliyaniya krupnykh torgovykh tsentrov na transportnye i peshekhodnye potoki [Study of the large shopping centers' influence on traffic and pedestrian flows], *Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects for rational use*. 2017; Vol. 4; 1(7): 85–88 (in Russian).
2. Gayfullin V.M. O probleme obespecheniya vidimosti na nereguliruyemykh peshekhodnykh perekhodakh [On the problem of providing visibility at unregulated pedestrian crossings]. *Vestnik OGU*. 2011; 10(129): 79–80 (in Russian).
3. Simul' M.G., [et al.] Vliyaniye nekotorykh faktorov na soblyudeniye voditelyami pravil proyezda peshekhodnykh perekhodov [Some factors' influence on the observance by drivers of the pedestrian crosswalks' passing]. *Science and technology in the road sector*. 2017; 1(79): 8–9 (in Russian).
4. Pauzkov A.V. O snizhenii zaderzhkek transporta v zone peshekhodnykh perekhodov (na primere g. Orenburga) [On reducing transport delays in the zone of pedestrian crossings (on the example of Orenburg)]. *Vestnik OGU*. 2011; 10 (129): 64–69 (in Russian).
5. Chekalina S.L., [et al.] Konflikt transportnykh i peshekhodnykh potokov v zonakh nereguliruyemykh perekrestkov [Conflict of transport and pedestrian flows in areas of unregulated intersections]. *Molodezhnyy vestnik IrGTU*. 2018; 8(4): 38–43 (in Russian).
6. Chekalina S.L., [et al.] Issledovaniye vliyaniya konfliktnykh situatsiy na izmeneniye skorosti transportnykh potokov v zonakh nereguliruyemykh perekrestkov [Investigation of the conflict situations' influence on speed of traffic flows in areas of unregulated intersections]. *Vestnik IrGTU*. 2018; Vol. 21; 8(127): 38–43 (in Russian).
7. Ryabokon' YU.A. [et al.] Konfliktnyye situatsii i dorozhnaya avariynaya situatsiya s uchastiyem peshekhodov na gorodskikh

magistralyakh [Conflict situations and road emergency with pedestrians on urban highways]. Vestnik SibADI. 2011; 3 (21): 19–21 (in Russian).

8. Gorbachev S.V. Osveshchennost' i bezopasnost' dvizheniya na nazemnykh peshekhodnykh perekhodakh [Lighting and traffic safety on land crosswalks]. Vestnik NTSBZHD. 2011; 4(10): 32–35 (in Russian).

9. Polosukhina M.V., [et al.] Intellectual'nyye sistemy ulichnogo osveshcheniya dlya povysheniya bezopasnosti dvizheniya na peshekhodnykh perekhodakh [Intellectual systems of street lighting to increase traffic safety at pedestrian crossings]. Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. Izdatel'stvo VGLU. 2016; 5-3(25-3):133–137 (in Russian).

10. Konovalova T.V., [et al.] Vliyaniye osveshchennosti i yarkosti proyezzhey chasti na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v gorodakh v temnoye vremya sutok [Influence of lighting and brightness of the carriageway on traffic safety in cities at night]. Vestnik permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhayushchey sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti Izdatel'stvo: Permskiy NIPU. 2013; 2: 61–71 (in Russian).

**Поступила 27.03.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Павлов Сергей Николаевич (Россия, г. Барнаул) – канд. техн. наук, доц. кафедры «Организация и безопасность движения»,

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», ORCID 0000-0001-6950-1303 (656038, г. Барнаул, Алтайский край, Россия, пр. Ленина, 46, e-mail: sergei\_pavl@mail.ru).

Павлова Юлия Владимировна (Россия, г. Барнаул) – старший преподаватель кафедры «Организация и безопасность движения», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», ORCID 0000-0001-5061-042 (656038, г. Барнаул, Алтайский край, Россия, пр. Ленина, 46, e-mail: sergei\_pavl@mail.ru).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Sergei N. Pavlov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Traffic Organization and Safety, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, ORCID 0000-0001-6950-1303 (656038, Russia, Altai Region, Barnaul, 46 Lenin Ave., e-mail: sergei\_pavl@mail.ru).*

*Yuliya V. Pavlova – Senior Lecturer, Department of Traffic Organization and Safety, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, ORCID 0000-0001-5061-042 (656038, Russia, Altai Region, Barnaul, 46 Lenin Ave., e-mail: sergei\_pavl@mail.ru).*

#### ВКЛАД АВТОРОВ

*Павлов С.Н. – Обзор состояния проблемы, материалы и методы исследования, обсуждение и заключение.*

*Павлова Ю.В. – Обзор состояния проблемы, формулирование результатов работы.*

#### AUTHORS' CONTRIBUTION

*Sergei N. Pavlov – problem review; materials and methods of research; discussion and conclusion.*

*Yuliya V. Pavlova – problem review; results' formulation.*

УДК 656.072

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЛУЖИВАНИЯ ПассаЖИРОВ НА МАРШРУТЕ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОБУСОВ РАЗНОЙ ВМЕСТИМОСТИ

И.М. Рябов, Р.Я. Кашманов\*

Волгоградский государственный технический университет,  
г. Волгоград, Россия

\*Radiikashmanov@yandex.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** С целью оптимизации работы подвижного состава (ПС) на маршруте предлагается использовать рациональное распределение автобусов с учетом их пассажироемкости с учетом часов суток, в которые осуществляется перевозка. При использовании ПС малой вместимости на маршрутах со значительным пассажиропотоком увеличиваются потребность в ПС, нагрузка на транспортную сеть и выбросы вредных веществ в атмосферу. Эксплуатация автобусов большой вместимости на маршрутах с пассажиропотоком малой мощности приводит к большим интервалам движения и затратам времени пассажиров на ожидание. При определении количества и типа автобусов стоит учитывать специфику города (работа проведена на примере г. Волгограда), а именно: наличие лишь двух магистральных улиц, имеющих по три полосы в каждом направлении; прилегающие дороги, через которые проходят маршруты, имеют по одной полосе в каждом из направлений.

Протяжённость города вдоль р. Волги в общей сложности составляет около 90 км, в связи с особенностями улично-дорожной сети (УДС) города любое нерациональное использование ПС приводит к существенной нагрузке на дорожную сеть, и, как следствие, образованию заторов на дорогах.

В связи с особенностями улично-дорожной сети города любое нерациональное использование ПС приводит к существенной нагрузке на дорожную сеть и к образованию заторов на дорогах. На сегодняшний день ПС эксплуатируется неэффективно. На большинстве маршрутов города часто используется такой ПС, вместимость которого не соответствует пассажиропотоку на маршруте.

Рассмотрены возможные пути оптимизации использования ПС, с учетом дневной нагрузки на УДС.

**Материалы и методы.** В работе исследована технология организации движения ПС на маршруте № 59. С целью оптимизации перевозочного процесса использовалась методика определения количества автобусов по часам суток с применением графоаналитического метода. Для данного маршрута будут использованы автобусы разной вместимости.

**Выводы.** Полученное распределение автобусов дает возможность совместить интересы перевозчиков и пассажиров, увеличить эффективность использования ПС, уменьшить нагрузку на УДС.

**Обсуждение и заключение.** Были разработаны мероприятия по повышению эффективности использования ПС, являющиеся главным условием улучшения транспортного обслуживания населения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** пассажиропоток, автобус, маршрутная сеть, транспортный поток, маршрут, графоаналитический метод, рейс, улично-дорожная сеть.

© И.М. Рябов, Р.Я. Кашманов



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# IMPROVING THE ORGANIZATION OF PASSENGER SERVICE ON THE ROUTE BY USING BUSES OF DIFFERENT CAPACITY

*I.M. Ryabov, R.Ya. Kashmanov\**  
Volgograd State Technical University,  
Volgograd, Russia  
\*Radiikashmanov@yandex.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The authors propose to use a rational distribution of buses, taking into account their passenger capacity and the hours of the day, in order to optimize the operation of the rolling stock (RS) on the route. The usage of RS low-capacity on routes with significant passenger traffic increases the RS need, the load on the transport network and emissions of harmful substances into the atmosphere. Operation of high-capacity buses on routes with low power passenger traffic leads to the large intervals of movement and to the increase of waiting time for passengers. The authors highlight that on the number and type of buses' determining it is necessary to take into account the city specifics (on the example of Volgograd), such as the presence of only two main streets with three lanes in each direction, adjacent roads through which the routes pass, one lane direction.

The length of the city along the Volga river in total is about 90 km, due to the peculiarities of the road network (RN) of the city, any irrational use of the RS leads to a significant load on the road network, and, as a result, to the congestion on the roads.

Nowadays the PS is not operated effectively. On most routes of the city the capacity of RS does not correspond to passenger traffic on the route. Possible way to optimize the use of RS is taking into account the daily load on the road network.

**Materials and methods.** The authors studied the technology of the movement organization of the rolling stock on the № 59 route. In order to optimize the transportation process, the authors used the method of determining the buses' number by hour of the day on the base of the graph-analytical method. Buses of different capacity were used on this route.

**Results.** The resulting distribution of buses made it possible to combine the interests of carriers and passengers, to increase the efficiency of rolling stock and to reduce the load on the road network.

**Discussion and conclusions.** As a result, the authors present the measures for improving the efficiency of the rolling stock. These measures are the main for improving transport services for population.

**KEYWORD:** passenger traffic, bus, route network, traffic flow, route, graph-analytical method, flight, street-road network.

© I.M. Ryabov, R.Ya. Kashmanov



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

### ВВЕДЕНИЕ

Перевозки пассажиров автомобильным транспортом являются сложным процессом и оказывают значительное влияние на социальное самочувствие населения и экономическое развитие страны. Становление теории и практики пассажирских автомобильных перевозок имеет содержательную и продолжительную историю развития. Наибольшее внимание уделено городским перевозкам в условиях квазистабильного состояния. Разработан комплекс соответствующих моделей с учётом меняющейся экономической парадигмы в стране.

Организация и технология перевозок пассажиров определяются большим количеством факторов, обусловленных сложностью рассматриваемого процесса. Многие из них изучены. К ним относится организация и технология перевозок по маршрутам, технология использования пассажирами и транспортными средствами остановочных пунктов. Эти два процесса взаимосвязаны, однако до настоящего времени рассматривались обособленно, что приводит к незапланированному ожиданию большим количеством автобусов заезда на остановочный пункт и увеличению времени ожидания пассажирами посадки в транспортное средство. Эффективность пассажирских автомобильных перевозок остаётся низкой. Основные претензии пассажиров сводятся к необходимости минимизации времени и затрат на поездку. Удовлетворить такие запросы в рамках модернизации отдельных процессов без их взаимного согласования проблематично. Кроме того, существующие модели для повышения точности должны иметь возможность адаптации к меняющимся условиям на основе учёта дополнительных факторов [1].

Системному анализу состояния пассажирского автомобильного транспорта, целеполаганию и методологии его развития посвящены многочисленные труды отечественных и зарубежных учёных, в совокупности образующие научный фундамент для изучения и решения возникающих проблем отрасли. Вместе с тем к настоящему времени оптимизации перевозок пассажиров на основе согласованности временных характеристик в остановочных пунктах

с учётом значительного увеличения пассажиропотоков уделено недостаточно внимания.

Объектом исследования является процесс перевозки пассажиров автомобильным транспортом. Предметом исследования являются технология и организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом с использованием автобусов разной вместимости.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии положений теории пассажирских автомобильных перевозок в направлении совершенствования методологии системы автобусных перевозок в условиях многократно изменяющихся пассажиропотоков.

Практическая значимость работы состоит в повышении эффективности транспортного обслуживания пассажиров и уменьшении затрат перевозчиков за счёт комплексного совершенствования технологии и организации перевозок в условиях значительного изменения пассажиропотоков, позволяющая обеспечить ритмичность и эффективность действия системы автобусных перевозок.

На сегодняшний день существуют проблемы с организацией перевозочного процесса. Качество транспортного обслуживания населения находится на невысоком уровне. Под качеством транспортного обслуживания понимается количественная характеристика одного или нескольких потребительских свойств предоставляемой транспортной услуги, составляющих ее качество в соответствии с установленными требованиями и стандартами. Показатели качества транспортного обслуживания пассажиров: экономичность, информационное обслуживание, комфортность, скорость, доступность и своевременность, безопасность<sup>1</sup>.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Автобусные перевозки пассажиров – подсистема городского хозяйства, функционирование которой влияет на качество жизни населения, эффективность городского хозяйства и возможности использования градостроительного и социально-экономического потенциала города для его развития. Суть данной технологии автобусных пассажирских перевозок заключается в организации движения ПС по

---

<sup>1</sup> Раюшкина А.А., Ширяев С.А., Авдеюк О.А., Тарасова И.А. Исследование качества транспортного обслуживания пассажиров г. Волгограда с точки зрения теории крупномасштабных систем // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2017) : труды Десятой междунар. конф. (г. Москва, 2-4 октября 2017 г.). В 2 т. Т. 1 : секции 1-6 / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна ; ФГБУН «Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова» Российской Академии наук. Москва, 2017. С. 430-43.

маршруту в виде последовательности повторяющихся циклов транспортировки – рейсов [2]. Основными принципами маршрутной технологии являются: определенность маршрута и стабильность его трассы; регулярность движения транспортных средств по расписанию; осуществление диспетчерского контроля. Анализ существующей организации городских перевозок проводят в несколько этапов<sup>2</sup> [3]:

1. Определяют характеристики маршрутной сети, изучают схемы маршрутов со всеми остановочными пунктами и характеристикой точек тяготения, а также опасных участков.

2. Проводят анализ работы ПС на линии, который включает:

- изучение ПС работающего на маршрутах, его соответствие пассажиропотоку на маршруте и комфортабельность поездки пассажиров;

- определение количества автобусов, работающих на маршруте по часам суток в выходные и будние дни;

- подсчет автомобиле-часов работы на маршруте в соответствии с существующим расписанием;

- подсчет интервалов движения автобусов на маршрутной сети по средствам натуральных наблюдений;

- расчет затрат на эксплуатацию ПС, работающего на существующей маршрутной сети.

3. Анализируют диспетчерское управление движения автобусов на маршруте. На данном этапе изучают:

- как осуществляется диспетчерское управление и как контролируется регулярность движения ПС (фактическая и запланированная);

- как происходит сбор и обработка информации об осуществляемых перевозках;

- работу внутрипарковой и линейной диспетчеризации;

- оценивают применяемые технические средства диспетчерского управления и обработки информации.

4. Анализируют организацию системы оплаты проезда и провоза багажа.

На данном этапе:

- анализируют систему оплаты проезда по маршрутам (кондукторное обслуживание, автоматизированные системы или сбор платы водителем);

- анализируют тарифы на маршруте (единый тариф или по тарифным участкам);

- определяют долю пассажиров, имеющих право на льготный и бесплатный проезд и систему возмещения затрат по их проезду;

- исследуют организацию контроля полноты сбора выручки на маршруте, его частоту и эффективность.

5. Проводят анализ технико-эксплуатационных показателей работы ПС и организации труда водителей.

Оценку существующей организации перевозок пассажиров осуществляют путем сравнения выявленных показателей качества перевозок с нормативами [4].

К технико-эксплуатационным показателям (ТЭП) маршрутных автобусов относятся: общая пассажировместимость автобусов; пробег автобусов по маршрутам; коэффициент использования пробега; общее число рейсов по маршрутам; эксплуатационная скорость движения; предоставленная пассажировместимость; статический коэффициент наполняемости; динамический коэффициент наполняемости; коэффициент регулярности движения; число пассажироместо-дней в хозяйстве; число пассажироместо-дней в работе; число пассажироместо-часов в работе.

После проведения анализа существующей организации перевозок указывают на установленные недостатки, выявляют существующие неиспользованные резервы, способные улучшить качество обслуживания пассажиров и мероприятия по совершенствованию перевозок на маршруте.

При этом следует учитывать следующие аспекты:

- соответствие пассажиропотока и метода организации движения автобусов на маршруте;

- возможность применения скоростного, экспрессного, полужэкспрессного или укороченного варианта движения;

- выбор и расчет оптимального ПС в зависимости от пассажиропотока и точек тяготения;

- выбор и расчет технико-эксплуатационных показателей использования ПС на маршруте.

Основной задачей совершенствования функционирующей или проектируемой организации пассажироперевозок на маршрутной сети должно являться существенное улучшение транспортного обслуживания пассажиров, повышения качества перевозок и повышение эффективности использования ПС. При со-

<sup>2</sup> Карагодина, А.Н. Обоснование необходимости развития транспортно-пересадочных узлов в транспортной системе города Волгограда // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, 10-13 мая 2016 г.); ВолгГТУ, Совет СНТО. Волгоград, 2016. С. 127.

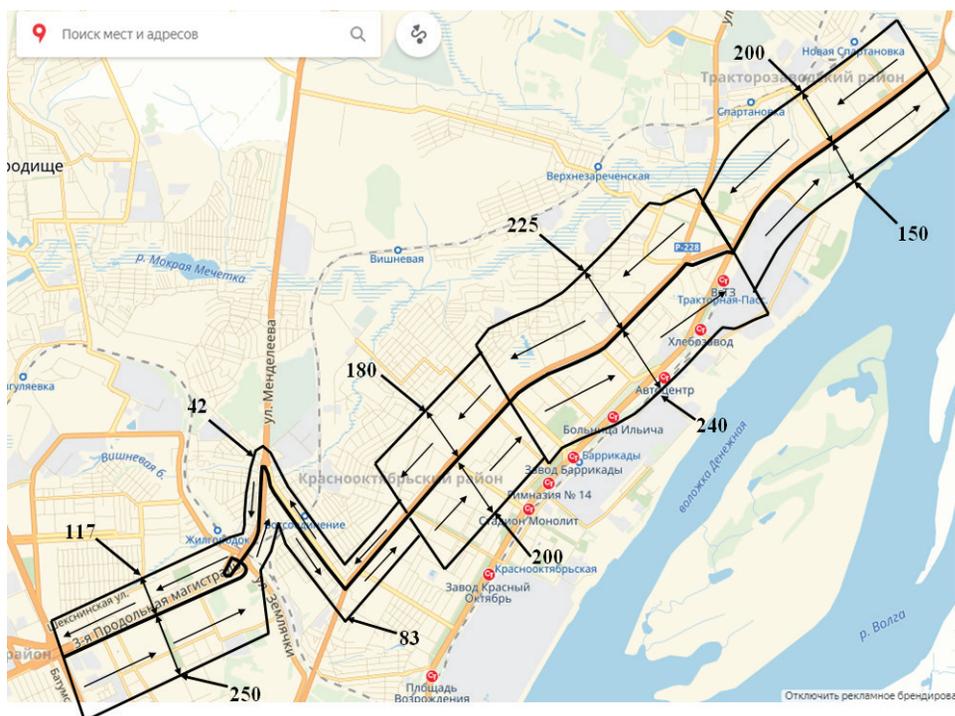


Рисунок 1 – Схема пассажиропотоков маршрута № 59

Figure 1 – Scheme of the № 59 passenger traffic route

вершенствовании организации пассажирских перевозок необходимо обеспечить нормативный уровень основных показателей качества перевозок:

- время, затрачиваемое на перемещение;
- безопасность пассажирских перевозок;
- комфорт поездки (регулярность движения и наполнение ПС).

При организации движения автобусов на проектируемых или существующих маршрутах одной из основных задач является выбор типа и расчет требуемого количества ПС. Правильно выбранный по вместимости тип автобусов и верно выполненный расчет потребного числа автобусов на маршруте оказывают решающее влияние на качество обслуживания пассажиров и эффективность работы ПС [5].

Совершенствование организации перевозок на маршруте может включать изменение графика движения автобусов, введение скоростных, экспрессных или укороченных графиков для части автобусов рассматриваемого маршрута, а также использование автобусов разной вместимости. Выбор типа ПС по вместимости – задача многокритериальная [6]. Выбор типа автобуса по вместимости зависит

от многих факторов: объема и расстояния перевозок, условий и методов организации движения, вида перевозок и режимов движения, дорожных и климатических условий и т.д. [7]

Рассмотрим маршрут № 59 « 61-я школа – ул. Землячки» г. Волгограда (рисунок 1).

Маршрут № 59 является городским и круглогодичным. Он соединяет четыре района города: Тракторозаводской, Краснооктябрьский, Центральный, Дзержинский.

Маршрут характеризуется следующими показателями:

- протяженность маршрута – 18 км;
- количество промежуточных остановок – 31 ед;
- техническая скорость – 28 км/ч;
- коэффициент дефицита автобусов – 0,91;
- нулевой пробег – 5,3 км;
- среднее время простоя на промежуточных остановках – 17 с;
- время простоя на конечных остановках – 10 мин;
- суточный пассажиропоток на маршруте составляет более 3600 пасс.

При организации перевозочного процесса пассажиров на маршруте по методике, пред-

положенной Гудковым В.А., выбирают нужный тип автобуса, рассчитывают потребное количество автобусов одинаковой вместимости и распределяют их по сменности путем разработки расписания движения автобусов выбранного типа. Однако при такой организации перевозок в часы спада пассажиропотока увеличивается интервал движения автобусов, что ухудшает качество транспортного обслуживания. Поэтому для совершенствования организации перевозок пассажиров целесообразно на маршруте использовать автобусы различных моделей и вместимости. Однако эффективность использования их далеко неодинакова. Использование автобусов малой вместимости позволит исключить излишние затраты времени пассажиров на ожидание<sup>3</sup>.

Для выбора типа и определения числа автобусов по часам суток применим графоаналитический метод.

Графоаналитический метод заключается в следующем. В зависимости от мощности пассажиропотока в час пик выбирается ориентировочное значение вместимости автобуса.

$$q_H = \frac{Q_{\max} + I_{\min}}{60}, \quad (1)$$

где  $Q_{\max}$  – максимальная мощность пассажиропотока, пасс./ч;  $q_H$  – номинальная вместимость автобуса, пасс.,  $I_{\min}$  – минимальный интервал движения в часы пик, ч.

По существующей методике для расчетов выбраны четыре типа автобусов:

Volgabus 5270 общей вместимостью – 85 пасс.,

ПАЗ-3203 общей вместимостью – 43 пасс.,

Ford Transit общей вместимостью – 24 пасс.,

ГАЗ-3221 общей вместимостью – 14 пасс.

Время оборота на маршруте составляет

$$t_0 = \frac{2 \cdot l_M}{v_T} + 2 \cdot n_{\text{по}} \cdot t_{\text{ос}} + t_k = \frac{2 \cdot 18}{28} + 2 \cdot 31 \cdot \frac{17}{3600} + \frac{10}{60} = 1,7 \text{ ч} = 102 \text{ мин}, \quad (2)$$

где  $t_0$  – время оборота автобуса на маршруте, мин;  $l_M$  – длина маршрута, км;  $v_T$  – техническая скорость, км/ч;  $n_{\text{по}}$  – количество промежуточных остановок, ед.;  $t_{\text{ос}}$  – время простоя на промежуточных остановках, с;  $t_k$  – время простоя на конечных остановках, мин.

Время, затраченное на рейс:

$$t_{\text{рейс}} = 102/2 = 51 \text{ мин}. \quad (3)$$

Связь между пассажиропотоком и количеством автобусов на маршруте рассчитывается по формуле

$$A_M = \frac{Q_{\max} \cdot t_0}{q_H} \text{ ед.} \quad (4)$$

В таблице представлена существующая расстановка потребного числа ПС по часам суток для предлагаемых типов автобусов.

На рисунке 2 видно, что для обслуживания максимального пассажиропотока потребуется автобусов марки Volgabus 5270 – 9 ед., ПАЗ 3203 – 17 ед., Ford Transit – 29 ед. и ГАЗ-3221 50 ед.

На следующем этапе проводится корректировка потребного числа ПС и рассчитывается число ПС с учетом коэффициента наполнения автобуса по часам суток.

Корректировка «пиковых» зон проводится в соответствии с возможностью автотранспортного предприятия по выпуску автобусов, т.е. с учетом коэффициента дефицита автобусов<sup>4</sup> [8]:

<sup>3</sup> Клепик Н.К. Статистическая обработка эксперимента в задачах автомобильного транспорта : учеб. пособие. ВолгГТУ. Волгоград, 1995. 96 с.

<sup>4</sup> Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учебник для студ. учрежд. сред. проф. образования / Москва : Академия, 2010. 400 с.

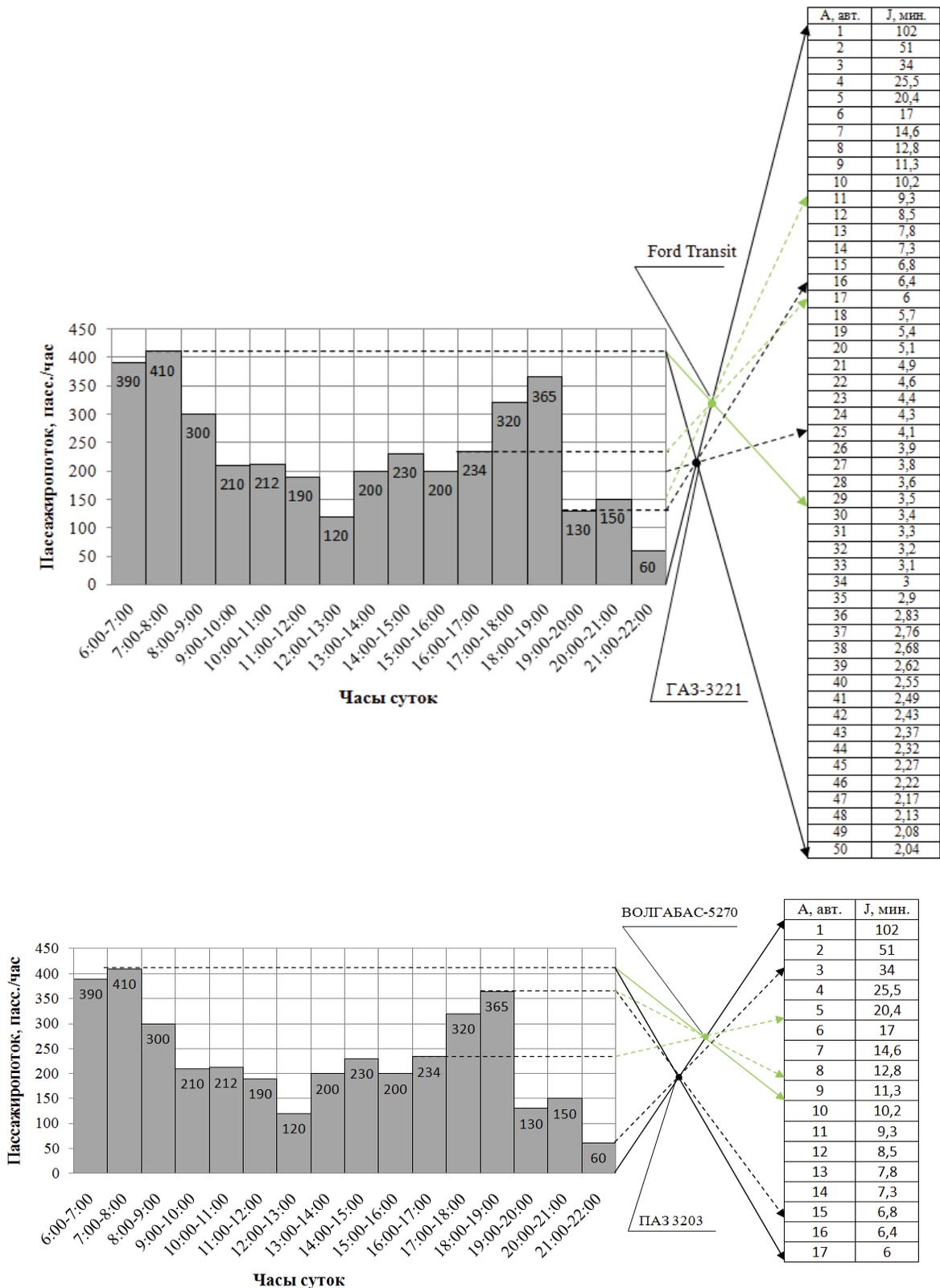


Рисунок 2 – Номограмма для определения необходимого количества автобусов на маршруте, где А – количество автобусов, ед., J – интервал движения автобусов, мин.

Figure 2 – Nomogram for determining of the required number of buses on the route: A – number of buses, units; J – interval of buses traffic, min

Таблица  
Потребное число ПС по часам суток

Table  
Required number of PS by hours of day

Часы суток	Q <sub>ч</sub> , пасс./ч	Volgabus 5270		ПАЗ 3203		ГАЗ-3221		Ford Transit	
		A <sub>м</sub> , ед.	I <sub>а</sub> , мин	A <sub>м</sub> , ед.	I <sub>а</sub> , мин	A <sub>м</sub> , ед.	I <sub>а</sub> , мин	A <sub>м</sub> , ед.	I <sub>а</sub> , мин
6–7	390	8	12,8	16	6,4	47	2,2	28	3,6
7–8	410	9	11,3	17	6	50	2	29	3,5
8–9	300	6	17	12	8,5	37	2,8	22	4,6
9–10	210	5	20,4	9	11,3	26	4	15	6,8
10–11	212	5	20,4	9	11,3	26	4	15	6,8
11–12	190	4	25,5	8	12,8	23	4,4	14	7,3
12–13	120	3	34	5	20,4	15	6,8	9	11,3
13–14	200	4	25,5	8	12,8	25	4,2	15	6,8
14–15	230	5	20,4	9	11,3	28	3,6	17	6
15–16	200	4	25,5	8	12,8	25	4	15	6,8
16–17	234	5	20,4	10	10,2	29	3,5	17	6
17–18	320	7	14,6	13	7,8	39	2,6	23	4,4
18–19	365	8	12,8	15	6,8	45	2,3	26	3,9
19–20	130	3	34	6	17	16	6,4	10	10,2
20–21	150	3	34	6	17	19	5,4	11	9,3
21–22	60	2	51	3	34	8	12,8	5	24

$$A_{д}^{пик} = A_{н}^{пик} * (1 - K_{деф}), \quad (5)$$

где  $A_{д}^{пик}$  – действительное (откорректированное) значение числа автобусов на маршруте;  $A_{н}^{пик}$  – необходимое (расчетное) значение количества автобусов на маршруте;  $K_{деф}$  – коэффициент дефицита автобусов.

ПАЗ 3203  $A_{н}^{пик} = 17 \cdot 0,91 = 16$  ед.;

Volgabus 5270  $A_{н}^{пик} = 90,91 = 8$  ед.

Максимальный выпуск автобусов должен проводиться в течение всей «пиковой» зоны и имеет продолжительность 2–4 ч.

Минимальное количество автобусов, которое необходимо иметь на маршруте ( $A_{мин}$ ), рассчитывается исходя из максимально допустимого интервала движения автобусов в часы спада пассажиропотоков по формуле:

$$\text{ПАЗ 3203 } A_{мин} = \frac{t_0}{J_{max}} = \frac{102}{20} = 5 \text{ ед.};$$

$$\text{Volgabus 5270 } A_{мин} = \frac{t_0}{J_{max}} = \frac{102}{25} = 4 \text{ ед.}$$

Произведем расчет потребного числа автобусов и распределение их по сменности.

В периоде движения наблюдается резкая неравномерность перевозок по часам суток, позволяющая выделить часы пик и часы «спада» пассажиропотоков. Определение фактического числа автобусов и распределение их по сменности производят графоаналитическим методом.

Количество автобусов на линии (рисунок 3) скорректировано с учетом качества обслуживания пассажиров и конкретными возможностями организации работы автобусов на линии.

Автомобиле-часы работы автобусов, подменяющих находящихся на обеденном перерыве отмечены знаком «к», находящиеся на обеденном перерыве – буквой «п», пересменки автобусных бригад знаком «∇»

В результате минимальный интервал движения для автобусов большой вместимости составляет 20 мин, а для автобусов средней вместимости – 25 мин. Автобусы сгруппированы в зависимости от продолжительности и режима их работы следующим образом:

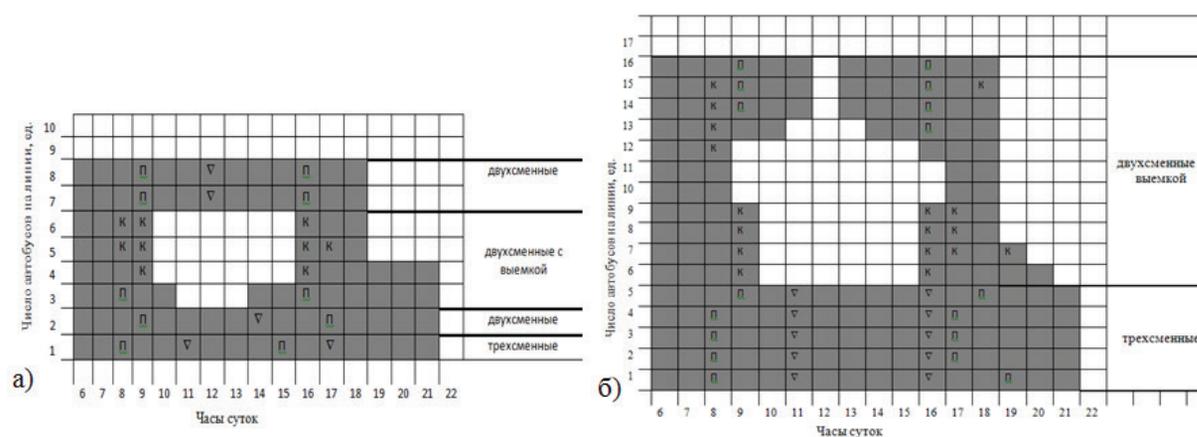


Рисунок 3 – Фактическое распределение автобусов по часам периода движения и сменности:  
а – Volgabus 5270; б – ПАЗ-3203

Figure 3 – Actual distribution of buses by hours of movement and shift:  
а – Volgabus-5270; б – PAZ-3203

Организация работы маршрута с использование автобусов только большой либо только малой вместимости должного эффекта не дает. При использовании только автобусов большой вместимости: в часы пик автобусы максимально заполнены, а в часы спада пассажиропотока автобусы эксплуатируются с коэффициентом наполнения 0,2 от номинальной вместимости.

При организации работы маршрута с использованием автобусов только малой вместимости возникает следующая проблема: в часы пик автобусов не хватает, не все пассажиры помещаются в ПС и остаются на остановочных пунктах в ожидании следующего транспорта [9].

В связи с этим предлагается совместная организация работы автобусов большой, средней и малой вместимости на маршруте № 59 следующим образом:

С 6 до 7 часов – 8 автобусов марки Volgabus 5270;

С 7 до 8 часов – 8 автобусов марки Volgabus 5270 и 2 автобуса марки ПАЗ-3203;

С 8 до 9 часов – 6 автобусов марки Volgabus 5270 и 2 автобуса марки ПАЗ-3203;

С 9 до 10 часов – 3 автобуса марки Volgabus 5270 и 4 автобуса марки ПАЗ-3203;

С 10 до 11 часов – 2 автобуса марки Volgabus 5270 и 6 автобусов марки ПАЗ-3203;

С 11 до 16 часов – 8 автобусов марки ПАЗ-3203;

С 16 до 17 часов – 2 автобуса марки Volgabus 5270 и 6 автобусов марки ПАЗ-3203;

С 17 до 18 часов – 4 автобуса марки Volgabus 5270 и 6 автобусов марки ПАЗ-3203;

С 18 до 19 часов – 6 автобусов марки Volgabus 5270 и 4 автобуса марки ПАЗ-3203;

С 19 до 20 часов – 2 автобуса марки Volgabus 5270 и 4 автобуса марки Ford Transit;

С 20 до 21 часа – 11 автобусов марки Ford Transit;

С 21 до 22 часа – 7 автобусов марки Ford Transit.

Совместное распределение автобусов на маршруте № 59 по часам суток представлено на рисунке 4.

На рисунке 5 приведена динамика изменения среднего значения коэффициента наполнения автобусов разной вместимости по часам суток. Данный коэффициент при совместном использовании автобусов разной вместимости выше, чем при использовании только автобусов марки Volgabus 5270 и ПАЗ-3203. Кроме того, интервал движения автобусов согласно показателям качества пассажирских автобусных перевозок стал более удобным для пассажиров.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Был исследован маршрут № 59 г. Волгограда. Для данного маршрута составлено совместное расписание движения автобусов разной вместимости по часам суток с учетом рационального использования ПС. При этом нагрузка на УДС с использованием данного расписания значительно снижается, так как происходит наполнение автобусов с коэффициентом 0,7 от общей вместимости, что отлично от существующей системы, согласно которой в часы спада пассажиропотока коэффициент наполняемости составляет 0,2 от вместимости ПС.

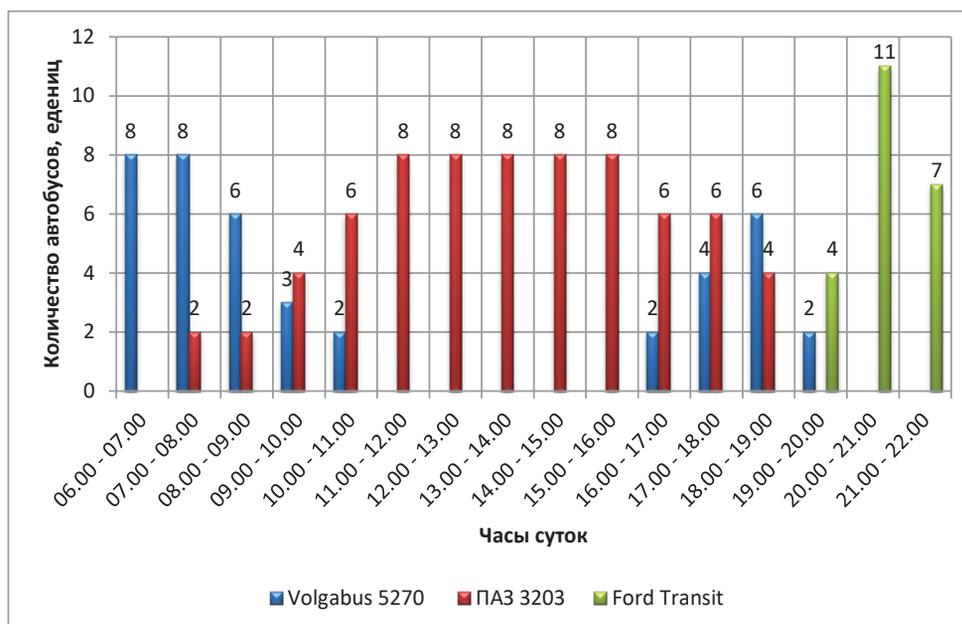


Рисунок 4 – Совместное распределение автобусов по часам суток на маршруте № 59

Figure 4 – Joint distribution of buses by hours of the day on № 59 route

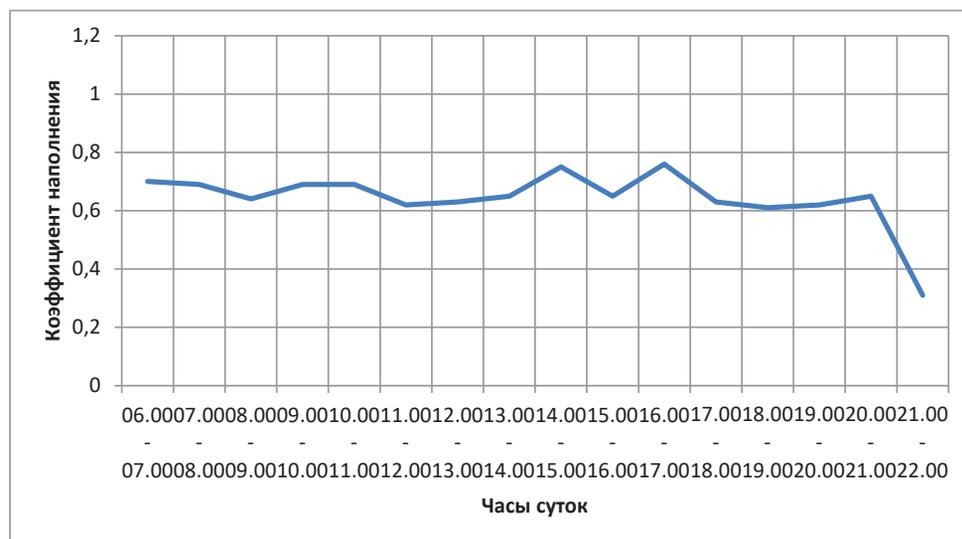


Рисунок 5 – Среднее значение коэффициента наполнения автобусов разной вместимости по часам суток

Figure 5 – Average value of the coefficient of the buses' filling on various capacities by hour of day

Данная методика может быть использована абсолютно на всех маршрутах города, так как методика расчета необходимого количества автобусов позволяет оптимизировать вид и тип ПС в зависимости от имеющегося пассажиропотока в определенные часы суток. В зависимости от того, какие маршруты будут оптимизированы, возможно использование нескольких единиц ПС на смежных маршрутах путем снижения простоя автобусов в часы спада на определенном маршруте.

Проведена оптимизация исследуемого маршрута, при этом среднее значение коэффициента наполнения составило 0,74. Степень удобства использования маршрута, исходя из интервала движения автобусов, согласно показателям качества пассажирских автобусных перевозок, можно классифицировать как удобный (интервал движения не превышает 10 мин).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основа существующей организации автобусных пассажирских перевозок заключается в организации движения ПС одинаковой вместимости по маршруту в виде последовательности повторяющихся циклов транспортировки – рейсов. Анализ существующей организации городских перевозок проводят в несколько этапов. Оценка существующей организации перевозок пассажиров осуществляют путем сравнения выявленных показателей качества перевозок с нормативами.

2. После проведения анализа существующей организации перевозок определяются ее недостатки, выявляют существующие неиспользованные резервы, способные улучшить качество обслуживания пассажиров и мероприятия по совершенствованию перевозок на маршруте.

3. Основной задачей совершенствования функционирующей или проектируемой организации перевозок пассажиров на маршрутной сети должно являться существенное улучшение транспортного обслуживания пассажиров, повышения качества перевозок и повышение эффективности использования ПС.

4. Разработано совместное расписание автобусов разной вместимости по часам суток на маршруте № 59, которое позволяет наиболее точно рассчитать необходимое количество и тип ПС в зависимости от времени суток, что приведет к максимальной загрузке ПС, уменьшит количество единиц автобусов на линии, снизив тем самым загрузку УДС, при этом без снижения качества перевозок. Нерациональное использование вместимости автобусов в данном случае сведено к минимуму.

5. Полученное распределение автобусов дает возможность совместить интересы перевозчиков и пассажиров, увеличить эффективность использования ПС, уменьшить нагрузку на УДС.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шураков Я.П. Зарубежный опыт организации обслуживания пассажиров городским пассажирским транспортом // Автотранспортное предприятие. 2008. №9. С. 18–22.

2. Вельможин А.В., Гудков В.А., Куликов А.В., Сериков А.А. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта: монография / ВолгГТУ. Волгоград, 2002. 256 с.

3. Кашманов Р.Я. Методика совершенствования существующей организации пассажирских городских перевозок // Молодой учёный. 2018. № 46 (232), ноябрь, ч. 1. С. 31–33.

4. Минатуллаев Ш.М. Выявление структуры пассажирообмена между районами города Краснодара. Моделирование и анализ сложных технических и технологических систем // Агентство международных исследований: Стерлитамак: 2018. С.88–90.

5. Минатуллаев Ш.М., Нестеренко Д.Х. Методика оперативного управления автобусными перевозками в условиях изменения пассажиропотоков // Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники. Уфа: АЭТЕРНА, 2018. С.84–89.

6. Минатуллаев Ш.М., Паршакова К.А., Нестеренко Д.Х. Недополученный общественный доход пассажира, вызванный ожиданием транспортного средства или поездкой // Исследование различных направлений современной науки. Москва, 2018.

7. Терентьев А.В., Ефименко Д.Б., Карелина М.Ю. Методы районирования как методы оптимизации автотранспортных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 291–294.

8. Ларин О.Н. Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона: монография. Челябинск: Изд-во «ЮУрГУ», 2007. 207 с.

9. Омарова З.К., Минатуллаев Ш.М., Кашманов Р.Я. Повышение эффективности и качества обслуживания пассажиров на основе использования интеллектуальных транспортных систем // Энерго- и ресурсосбережение : промышленность и транспорт. Волгоградский государственный технический университет. 2016. № 5. С. 35–39.

### REFERENCES

1. Shurakov J.P. Zarubezhnyj opyt organizacii obsluzhivaniya passazhirov gorodskim passazhirskim transportom [Foreign experience in the organization of passenger service by urban passenger transport]. Motor transport enterprise, 2008; 9: 18–22 (in Russian).

2. Velmozhin A.V., Gudkov V. A., Kulikov A.V., Serikov A. A. Effektivnost' gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta [Efficiency of urban passenger public transport]. Volgograd, 2002: 256. (in Russian).

3. Kashmanov, R.J. Metodika sovershenstvovaniya sushhestvujushhej organizacii passazhirskih gorodskih perevozok [Methods of improving the existing organization of urban passenger transport] Molodoj uchjonyj, 2018; 46 (232), november, pt. 1: 31–33 (in Russian).

4. Minatullaev Sh.M. Vyjavlenie struktury passazhiroobmena mezhdurajonami goroda Kras-

nodara. Modelirovanie i analiz slozhnyh tehnikeskikh tehnologicheskikh system [Modeling and analysis of complex technical and technological systems]. Agentstvo mezhdunarodnyh issledovaniy: Sterlitamak, 2018: 88–90 (in Russian).

5. Minatullaev Sh.M. Metodika operativnogo upravleniya avtobusnymi perevozkami v usloviyah izmeneniya passazhiropotokov [Methods of operational management of bus transportation in the conditions of changes in passenger traffic]. Nauchnye issledovaniya vissej shkoly po prioritetnym napravlenijam nauki i tehniki, Ufa, AJETERNA, 2018: 84–89 (in Russian).

6. Minatullaev Sh.M., Parshakova K.A., Nesterenko D.H., Nedopoluchennyj obshhestvennyj dohod passazhira, vyzvannyj ozhidaniem transportnogo sredstva ili poezdki [Lost public income of the passenger caused by waiting for a vehicle or a trip]. Issledovanie razlichnyh napravlenij sovremennoj nauki/, Moscow, 2018 (in Russian).

7. Terent'ev A.V., Efimenko D. B., Karelin M. Y. Metody rajonirovaniya kak metody optimizacii avtotransportnyh processov [Zoning methods as methods of optimization of road transport processes]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov, 2017; 6 (65): 291–294 (in Russian).

8. Larin O.N. Metodologicheskie osnovy organizacii i funkcionirovaniya transportnoj sistemy regiona [Methodological basis of organization and functioning of the transport region system]: monografija. Cheljabinsk: Izd-vo UrGU, 2007: 207 (in Russian).

9. Omarova Z.K., Minatullaev SH.M., Kashmanov R.YA. Povyshenie effektivnosti i kachestva obsluzhivaniya passazhirov na osnove ispol'zovaniya intellektual'nyh transportnyh sistem [Improving the efficiency and quality of passenger service through the use of intelligent transport systems]. Energo- i resursoberezhenie: promyshlennost' i transport № 5. Volgogradskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Volgograd, 2016: 35–39 (in Russian).

**Поступила 08.04.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

**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

*Рябов Игорь Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобильные перевозки»*

*Волгоградского государственного технического университета (400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: rjabov1603@mail.ru)*

*Кашманов Радий Яруллаевич – аспирант кафедры «Автомобильные перевозки», факультет «Автомобильный транспорт» Волгоградского государственного технического университета (400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: Radiikashmanov@yandex.ru)*

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Igor M. Ryabov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Automobile Transport Department, Volgograd State Technical University (400005, Russia, Volgograd, 28 Lenin Ave., e-mail: rjabov1603@mail.ru).*

*Radii Ya. Kashmanov – Postgraduate student of the Automobile Transport Department, Volgograd State Technical University (400005, Russia, Volgograd, 28 Lenin Ave., e-mail: Radiikashmanov@yandex.ru).*

#### ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Рябов И.М. Постановка основных задач, выбор методик расчета. Проверка правильности выполнения расчетов, анализ полученных данных.*

*Кашманов Р.Я. Сбор информации и расчет необходимого числа автобусов, построение номограммы для определения необходимого количества автобусов на линии, распределение автобусов по часам периода движения и сменности. Построение совместного распределения автобусов по часам суток на исследуемом маршруте. Анализ полученных результатов.*

#### AUTHORS' CONTRIBUTION

*Igor M. Ryabov – statement of main problems; choice of calculation methods; checking of the calculations' correctness; data analysis.*

*Radii Ya. Kashmanov – collection of information and calculation of the required number of buses; construction of the nomogram for determining of the required number of buses on the line; buses' distribution by hours of the movement period and shift; construction of the joint distribution of buses by hours of the day on the studied route; results' analysis.*

# АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЕЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

*Н.В. Савенков, В.В. Понякин\*, С.А. Чекулаев, В.В. Бутенко*

*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, Донецкая Народная Республика  
\*ponyakinvv@mail.ru*

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В настоящее время стенды с беговыми барабанами широко применяются для проведения различных видов испытаний. Особую роль при этом составляют мощностные стенды, которые отбирают от ведущих колес автомобиля развиваемую мощность. При этом моделируется процесс движения автотранспортного средства в эксплуатационных условиях. Такое оборудование имеет различающуюся конструкцию, принцип действия и рабочие характеристики, применяется в разных по назначению, этапам разработки и видам испытаниях: исследовательских, контрольных, сертификационных и т.д. с целью определения тягово-скоростных, топливно-экономичных и экологических эксплуатационных свойств.

**Материалы и методы.** В данной статье выполнен обзор относительно распространенных на внутреннем рынке предложений мощностных стендов с беговыми барабанами, проведен анализ основных конструктивных решений: схем передачи усилия в паре колесо–барабан, применяемых типов нагрузочных устройств, схем компоновки трансмиссии и особенностей контрольно-измерительного комплекса. Рассмотрены соответствующие достоинства и недостатки, рекомендованы сферы применения и приведены параметры и характеристики рабочего процесса агрегатов, узлов и оборудования.

**Выводы.** Изложенный в работе материал направлен на критическую оценку существующих моделей стендов с беговыми барабанами, а также для предоставления первичной информации, полезной при выборе серийных моделей, либо предшествующей разработке технического задания на проектирование или модернизацию создаваемого оборудования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** динамометрический стенд, беговой барабан, транспортное средство, тормоз-замедлитель, крутящий момент, мощность, тягово-скоростные свойства, устройство для измерения крутящего момента, испытания.

© Н.В. Савенков, В.В. Понякин, С.А. Чекулаев, В.В. Бутенко



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# MODERN EQUIPMENT FOR DETERMINING TRACTOR-SPEED PROPERTIES OF THE VEHICLE: CHARACTERISTICS' ANALYSIS IN LABORATORY CONDITIONS

*N.V. Savenkov, V.V. Ponyakin\*, S.A. Chekulaev, V.V. Butenko*  
*Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,*  
*Makeevka, Donetsk People's Republic*  
*\*ponyakinvv@mail.ru*

## ABSTRACT

**Introduction.** At present, stands with running drums are widely used for various types of tests. Power stands play a special role. Such stands take the mechanical power from the driving wheels of the car. This simulates the process of movement of the vehicle under operating conditions. Such equipment has various designs, principles of operation and performance. It is also used in tests that are different by purpose, development stages and types: research, control, certification, etc. Therefore, it is necessary in order to determine the traction-speed, fuel-efficient and environmental performance characteristics.

**Materials and methods.** The paper provides the overview of the power stands with running drums, which are widespread on the domestic market. The authors carried out the analysis of the main structural solutions: schemes of force transfer between the wheel and the drum; types of loading devices; transmission layout schemes and features of the control and measuring complex. The authors also considered corresponding advantages and disadvantages, recommended spheres of application, demonstrated parameters and characteristics of the units' workflow, presented components and equipment.

**Discussion and conclusions.** The authors critically evaluate existing models of stands with running drums. Such information is useful for choosing serial models of stands and for developing technical tasks for designing or upgrading the equipment.

**KEYWORDS:** dynamometer, chassis drum, vehicle, retarder, torque, power, traction and speed properties, device for torque measuring, testing.

© N.V. Savenkov, V.V. Ponyakin, S.A. Chekulaev, V.V. Butenko



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

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время с целью экспериментального определения тягово-скоростных и топливно-экономичных свойств колесных транспортных средств (ТС), а также их экономичности все большее распространение получают испытания на стендах с беговыми барабанами (СББ).

Основным преимуществом таких испытаний по отношению к полигонным является отсутствие влияния на результаты измерений изменчивости климатических условий и характеристик опорной поверхности. Это обеспечивает хорошую повторяемость и сопоставимые условия проведения испытаний для различных образцов техники. Среди недостатков следует отметить необходимость в наличии оборудования, обеспечивающего создание эквивалентного эксплуатационного сопротивления движению, а также соответствующего регистрирующему и измерительному комплексу. Кроме того, стенды разных конструкций отличаются условиями взаимодействия колес с опорной поверхностью и должны обеспечивать необходимый нагрузочно-скоростной диапазон.

Основная цель настоящей публикации – на основании анализа конструктивных особенностей и характеристик узлов и агрегатов серийных тормозных стендов с беговыми бара-

банами дать рекомендации по рациональному применению рассмотренного оборудования в соответствии с видами испытаний.

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи: выбор в качестве примера характеристик относительно распространенных моделей СББ, анализ преимуществ и недостатков схем передачи усилия между колесом и беговым барабаном (ББ), применяемых типов нагрузочных устройств, компоновочных решений, оборудования и способов для определения тягово-скоростных свойств.

Приведенные в работе результаты направлены на обеспечение рационального выбора серийных моделей СББ в соответствии с видами и назначением испытаний либо для рационального конфигурирования СББ при их производстве и модернизации.

Конструкция и характеристики современных мощностных СББ в настоящей работе рассмотрены на примере следующих, относительно распространённых, моделей: СДМ 2-3500.200, DYNOMAX 4000 AWD BR, VT-2/B1, FPS2700, МАНА MSR 1000 (рисунок 1). Стенд динамический, барабанный СДМ 2-3500.200 предназначен для определения тягово-скоростных свойств и тормозных качеств двухосных автомобилей, а также для оценки состояния узлов, агрегатов и систем силовой установки. Оборудование позволяет

Таблица 1  
Основные технические характеристики серийных мощностных стендов с беговыми барабанами

Table 1  
Main technical characteristics of the serial power stand with running drums

Модель	СДМ 2-3500.200	DYNOMAX 4000 AWD BR	VT-2/B1	МАНА MSR 1000	FPS2700
Габариты д×ш×в, мм, (д×ш) мм	8320×4800×х9700	5500×3800	1200×х3300	4400-5400×4100×х890	4000×1100×х1000
Диаметр барабанов, мм	500	250	250	762	217
Допустимая вертикальная нагрузка на ось, кг	2000	3000	3000	2400	2700
Количество осей	4	5	2	1	2
Способ и режим торможения	инерционный, силовой, при постоянной частоте вращения				
Тормозные устройства: (количество/тип, модель)	2/асинхронное 180 кВт	1/индукционное	1/индукционное	2/электро-двигателя (30кВт)	1/электродинамическое
Максимальная скорость испытуемого АТС, км/ч	200	250	300	320	200
Точность измерения мощности	± 1 %	± 2 %	± 1 %	± 2 %	± 3 %

воспроизводить движение по дорогам с твердым покрытием [1]. Стенд динамометрический DYNOMAX 4000 AWD BR предназначен для измерения мощности, крутящего момента и скорости автомобиля с приводом на одну или обе оси [2]. Динамометрический стенд VT-2/B1 предназначен для измерения мощности и крутящего момента автомобилей с одной ведущей осью на режимах движения с постоянной скоростью, а также по заданному циклу [3]. Основная сфера применения стенда MAHA MSR 1000 – испытания легковых автомобилей с колесной формулой 4×4, 4×2 или 2×4 [4]. Стенд модели FPS2700 предназначен для испытаний автомобилей с одной ведущей осью в условиях станций технического обслуживания на предмет определения тягово-скоростных свойств, а также с целью выполнения диагностики двигателя [5].

Основные технические характеристики рассмотренного оборудования приведены в таблице 1.



Рисунок 1, а – СДМ 2-3500.200

Figure 1, a – СДМ 2-3500.200



Рисунок 1, б – DYNOMAX 4000 AWD BR

Figure 1, b – DYNOMAX 4000 AWD BR

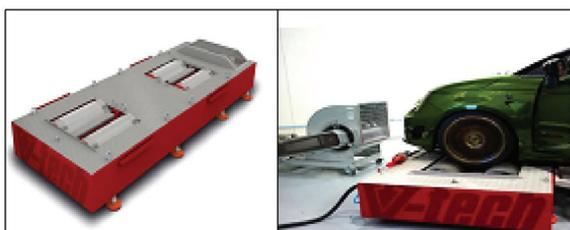


Рисунок 1, в – VT-2/B1

Figure 1, с – VT-2/B1



Рисунок 1, е – MAHA MSR 1000

Figure 1, d – MAHA MSR 1000



Рисунок 1, д – FPS2700

Figure 1, e – FPS2700

### АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ СХЕМ ПЕРЕДАЧИ УСИЛИЯ В ПАРЕ КОЛЕСО–БАРАБАН

С целью передачи усилия в паре колесо – беговой барабан в настоящее время применяют следующие кинематические варианты:

1) стенды с опорой колеса на один барабан (рисунок 2,а); такая схема содержит меньшее количество подвижных элементов, а также характеризуется сниженными потерями в пятне контакта шины с барабаном [6]; большая инерционная мощность такого конструктивного решения является одновременно его преимуществом и недостатком (это зависит от режимных параметров выполняемых испытаний);

2) стенды с опорой колеса на два барабана (рисунок 2,б) относительно рассмотренных ранее имеют меньшую металлоёмкость и характеризуются большой устойчивостью испытываемого автомобиля; однако режим испытаний на таком стенде сопровождается повышенной деформацией шин – это влечет их интенсивный нагрев и изнашивание;

3) стенды с 4-барабанной компоновкой (на одну ось автомобиля приходится 2 оси барабанов), рисунок 2,в, позволяют проводить испытания как с одной ведущей осью, так и с двумя; такая компоновочная схема является универсальной [7]; основной недостаток – относительно высокая стоимость.

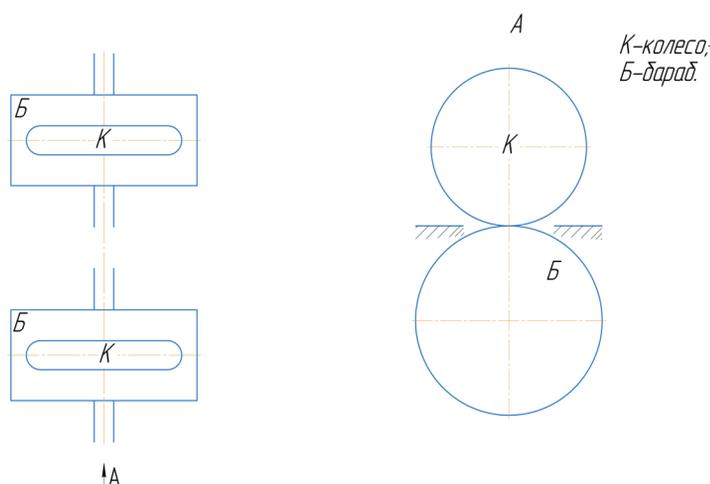


Рисунок 2, а – Однобарабанная схема

Figure 2, a – Single-drum circuit

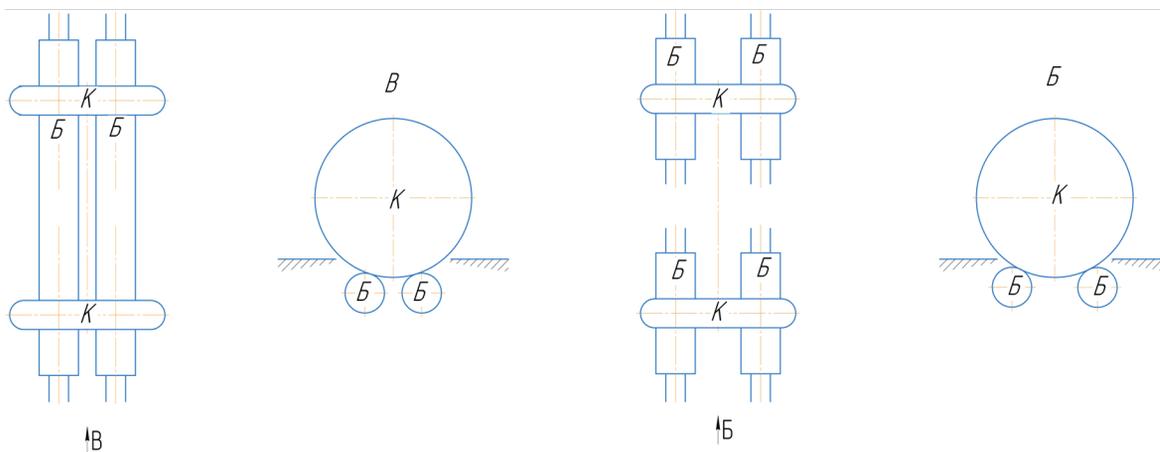


Рисунок 2, б – Двухбарабанная схема под колеса ведущей оси и двухбарабанная схема под каждое колесо ведущей оси

Figure 2, b – Two-drum driving axle and two-drum circuit for each wheel of the drive axle

Таким образом, схема передачи усилия между колесом и ББ обуславливается колесной формулой испытуемого автомобиля, удельным усилием в пятне контакта и условиями испытаний. Форма пятна контакта шины с поверхностью барабана в значительной степени отличается от результатов исследования качения колеса в различных режимах по горизонтальной поверхности [6]. При тяговых испытаниях отношение диаметра барабана к диаметру колеса обычно составляет 0,4...0,5. Меньшие значения влекут уменьшение коэффициента сцепления в пятне контакта.

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

В качестве нагрузочных устройств в конструкции современных мощных стендов применяются электрические, гидравлические и механические тормозные устройства.

#### Электрические нагрузочные устройства

Электрические машины обладают гибкостью регулирования относительно стабильным крутящим моментом, а некоторые их типы могут быть обратимы – при определенных

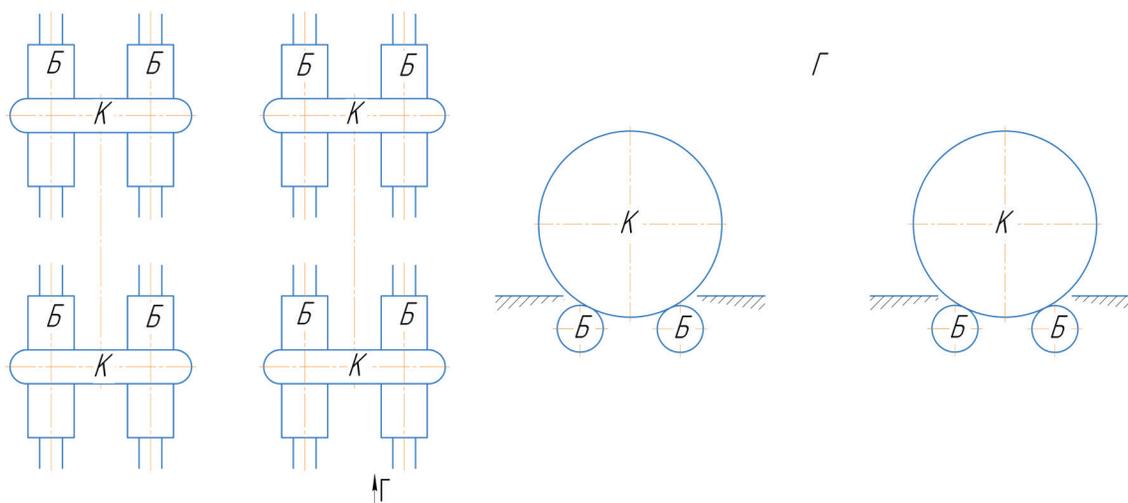


Рисунок 2, в – Четырехбарабанная схема для автомобилей с двумя ведущими осями

Figure 2, c – Four-drum circuit for cars with two driving axles

условиях переходить из тормозного в двигательный режим. На рисунках 3 и 4 показаны конструкции, схемы подключения и основные характеристики машин переменного и постоянного тока соответственно.

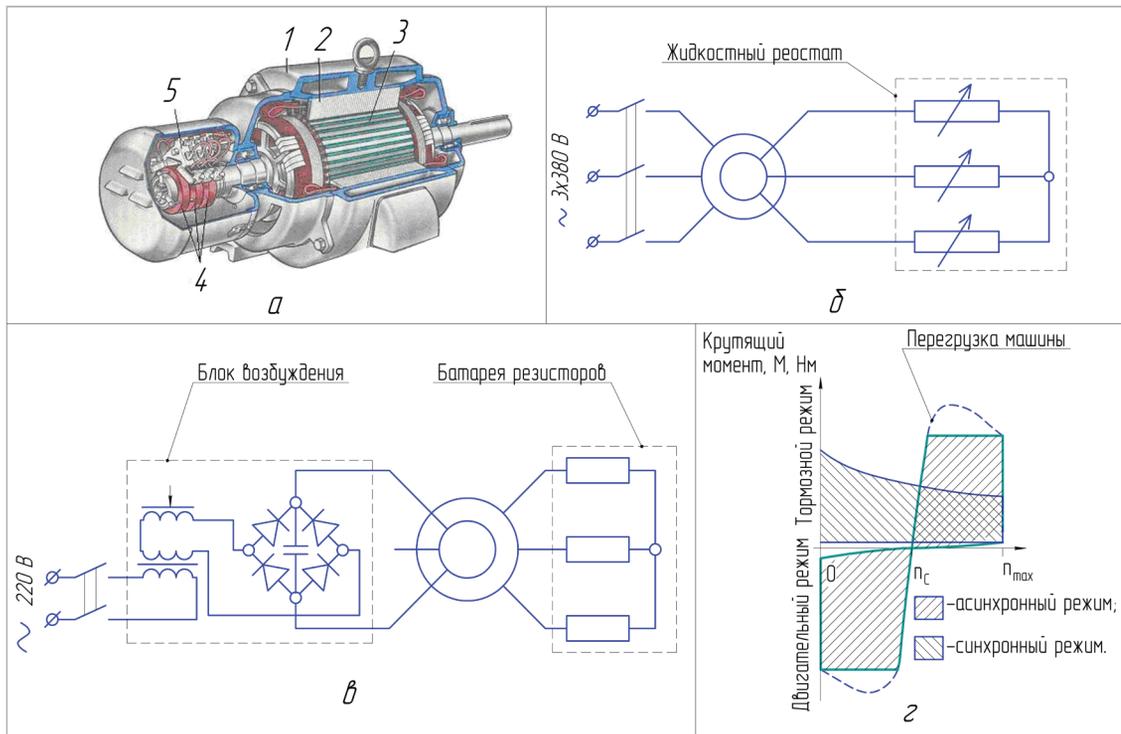
Синхронные и асинхронные электрические машины переменного тока с фазовым ротором имеют аналогичную между собой конструкцию. Различаются схемами коммутации. Преимущества асинхронных тормозных устройств – простота конструкции, автоматический переход из двигательного режима в тормозной при преодолении синхронной частоты вращения ротора. В тормозном режиме часть отбираемой мощности рекуперируется в питающую сеть, а другая часть расходуется в тепло на реостате (рисунок 3,б)<sup>1</sup>. Основные недостатки асинхронных машин – относительно узкие диапазоны регулирования по частоте вращения как в двигательном, так и в тормозном режиме. Это накладывает определенные ограничения на эксплуатацию таких СББ без редукторов с изменяемым передаточным соотношением. Также к недостаткам относится трудоемкость обслуживания жидкотного реостата и инерционность его регулирования. Синхронные машины, при прочих равных, в тормозном режиме имеют вдвое больший рабочий диапазон, но при этом обладают практически вдвое

меньшим тормозным моментом [8]. Вся отбираемая мощность расходуется в тепло на батарее резисторов (рисунок 3,в). Недостатком синхронного нагрузочного устройства является частотное регулирование при необходимости организации его работы в двигательном режиме.

Электрические машины постоянного тока отличаются относительно высокой стоимостью и меньшим ресурсом, однако имеют хорошую плавность хода и широкие пределы регулирования. Для обеспечения режимов работы, рассмотренных в таблице 2, не требуют микропроцессорного управления. Эти машины находят широкое применение для исследовательских целей.

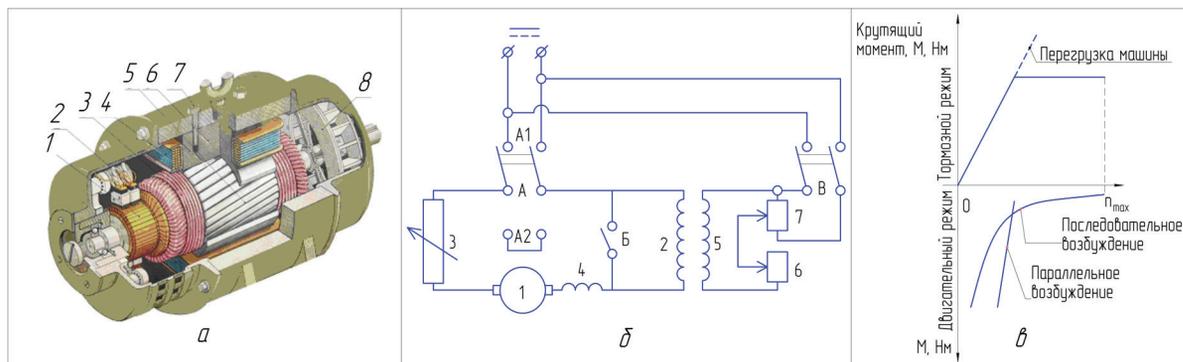
Электроиндукционные нагрузочные устройства (рисунок 5) имеют относительно простую конструкцию, компактны, долговечны, просты в управлении, обладают высокой удельной мощностью и высокой предельной частотой вращения ротора. В некоторых быстроходных конструкциях ротор имеет жидкостное охлаждение. Электроиндукционные тормозные устройства применяются при длительных испытаниях, например на предмет определения надежности и безотказности. Главным недостатком этих агрегатов является невозможность организации двигательного режима.

<sup>1</sup> Техническое описание и инструкция по эксплуатации 5543 ТО. Стенд обкаточно-тормозной КИ-5543-ГОСНИТИ. Госкомсельхозтехника УССР, 1979. 24 с.



**Рисунок 3 – Машина переменного тока:**  
 а – конструкция машины: 1 – статор, 2 – обмотка статора, 3 – фазовый ротор, 4 – токосъемники;  
 б – схема подключения в асинхронном режиме; в – схема подключения в синхронном режиме;  
 г – механическая характеристика в асинхронном и синхронном режимах

**Figure 3 – AC machine:**  
 а – machine structure: 1 – stator, 2 – stator winding, 3 – phase rotor,  
 4 – current collectors; б – wiring diagram in asynchronous mode; в – wiring diagram in synchronous mode;  
 д – mechanical characteristic in asynchronous and synchronous modes



**Рисунок 4 – Машина постоянного тока:**  
 а – эскиз машины: 1 – коллектор, 2 – щеточный узел, 3 – обмотка ротора, 4 – полюсная катушка, 5 – ротор, 6 – сердечник полюса возбуждения, 7 – корпус, 8 – система охлаждения; б – схема подключения: А – переключатель между двигателем (А1) и тормозным (А2) режимами, В – рубильник для замыкания накоротко последовательной обмотки возбуждения, В' – рубильник для включения параллельной обмотки возбуждения, 1 – обмотка ротора, 3 – нагрузочный реостат, 4 – обмотка дополнительных полюсов, 6, 7 – реостат и потенциометр параллельной обмотки возбуждения; в – механическая характеристика на различных режимах работы

**Figure 4 – DC machine:**  
 а – machine sketch: 1 – collector, 2 – brush unit, 3 – rotor winding, 4 – pole coil, 5 – rotor, 6 – core of the excitation pole, 7 – housing, 8 – cooling system; б – connection diagram: А – switch between the motor (А1) and brake (А2) operation modes, В – switch for shorting the 2 series excitation winding, В' – switch to turn on the 5 parallel excitation winding, 1 – rotor winding, 3 – load rheostat, 4 – winding additional poles, 6, 7 – rheostat and potentiometer of the parallel field winding; в – mechanical characteristic of the DC machine in various operating modes

Таблица 2  
Рекомендации по применению различных режимов коммутации

Table 2  
Recommendations for the use of various switching modes

Режим работы машины постоянного тока		Положение переключателей (см. рисунок 4)			Особенности режима и рекомендации по применению
		А	Б	В	
Двигательный режим	Режим последовательного возбуждения	A1	откл.	откл.	Машина имеет наибольший пусковой момент, «мягкую» механическую характеристику, частота вращения ротора обратно пропорциональна крутящему моменту
	Режим параллельного возбуждения	A1	вкл.	вкл.	Машина имеет «жесткую» механическую характеристику. Режим предпочтителен для холодной обкатки ДВС, определения потерь в силовой установке и тормозных свойств
	Режим смешанного возбуждения	A1	откл.	вкл.	Режим является промежуточным между последовательным и параллельным возбуждением
Тормозной режим		A2	вкл.	вкл.	Применяется для определения тягово-скоростных свойств, топливной экономичности и экологичности в различных нагрузочно-скоростных режимах

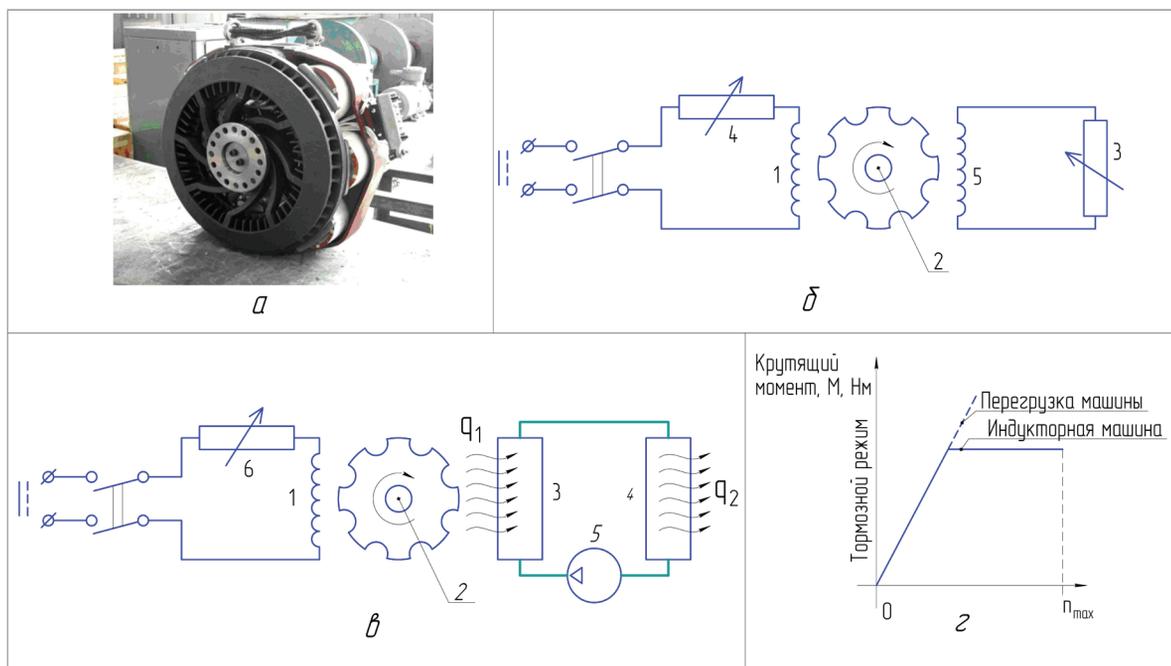


Рисунок 5 – Индукционный тормоз:  
 а – внешний вид; б – схема подключения: 1 – обмотка возбуждения, 2 – ротор, 3, 4 – реостаты, 5 – дополнительная якорная обмотка; в – схема подключения с двумя обмотками: 1 – обмотка возбуждения, 2 – ротор, 3, 4 – теплообменники, 5 – водяной насос, 6 – устройство для регулирования тормозного усилия,  $q_1$  и  $q_2$  – теплота, выделяемая при работе тормоза; г – механическая характеристика

Figure 5 – Induction machine:  
 а – braking device; б – wiring diagram: 1 – the excitation winding, 2 – rotor, 3, 4 – rheostats; 5 – additional anchor winding; в – wiring diagram with 2 windings: 1 – excitation winding, 2 – rotor, 3, 4 – heat exchangers, 5 – water pump, 6 – device brake force control,  $q_1$  and  $q_2$  – heat released in the process of slowing the rotation; г – mechanical characteristic

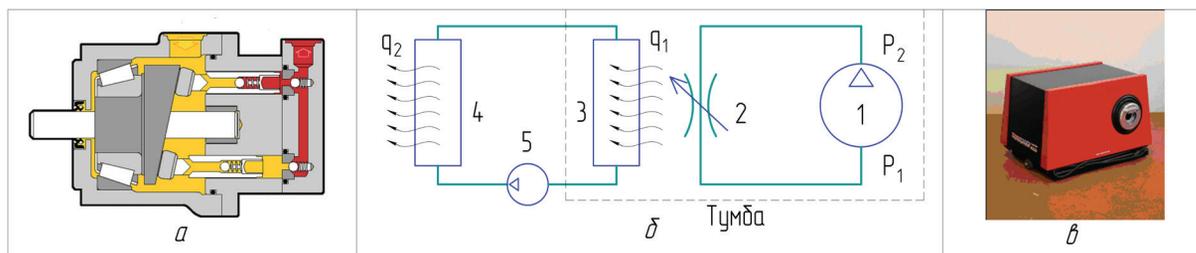


Рисунок 6 – Гидрообъемное аксиально-плунжерное нагрузочное устройство:  
а – эскиз поперечного разреза; б – схема с жидкостным охлаждением и регулируемым дросселем:  
1 – гидрообъемный аксиально-плунжерный насос (тормоз), 2 – дроссель, 3, 4 – теплообменники, 5 – насос системы охлаждения,  $q_1$  – теплота, отбираемая от дросселя,  $q_2$  – теплота, выделяющаяся в окружающую среду;  
в – гидрообъемное тормозное устройство фирмы «DynaPack»

Figure 6 – Hydrostatic axially plunger load device:  
a – sketch of the transverse section; b – circuit with liquid cooling and an adjustable choke: 1 – axial-plunger pump (brake), 2 – throttle, 3, 4 – radiators, 5 – pump,  $q_1$  – heat taken from the choke,  $q_2$  – heat released into the environment;  
c – hydro-volume brake device of the firm “DynaPack”

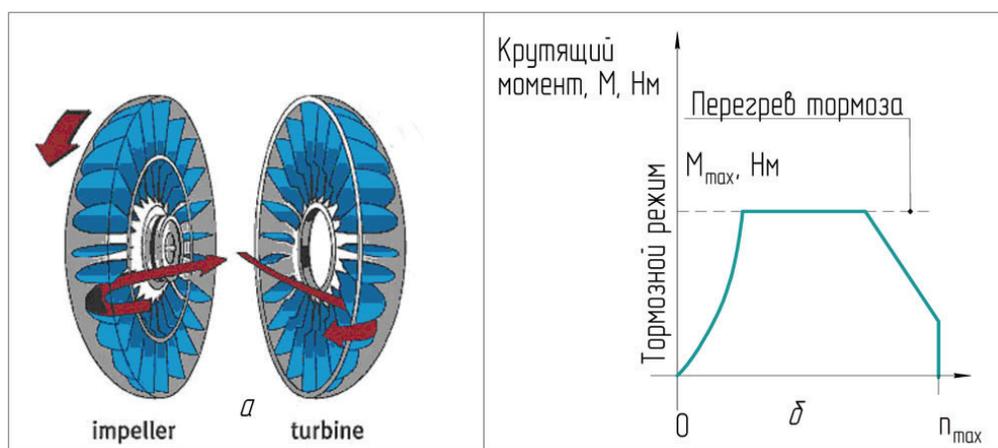


Рисунок 7 – Гидродинамическое тормозное устройство:  
а – основные элементы: подвижное насосное колесо (импеллер) и неподвижное колесо (турбинное);  
б – механическая характеристика

Figure 7 – Hydraulic brake device:  
a – the main elements: a movable pumping wheel (impeller) and a fixed wheel (turbine);  
b – mechanical characteristic

### Гидравлические нагрузочные устройства

Гидравлические нагрузочные устройства представлены объёмными и динамическими машинами.

В гидрообъёмных агрегатах тормозной эффект создается за счет разницы давлений рабочего тела. Наиболее распространёнными устройствами этого типа являются аксиально-плунжерные насосы, схема применения которых в конструкции стендов показана на рисунке 6.

Основные преимущества гидрообъёмных тормозных устройств: компактность, высокая удельная мощность, возможность работы в

двигательном режиме, относительная простота регулировки, стабильность, широкий нагрузочно-скоростной диапазон регулирования.

Гидродинамические нагрузочные устройства (рисунок 7) являются относительно распространёнными, имеют сравнительно простую конструкцию, работают в тормозном режиме.

### Механические тормоза

Механические тормозные устройства условно подразделяются на колодочные и инерционные. Эти агрегаты имеют относительно простую конструкцию и работают только в тормозном режиме. Их эксплуатация сопряжена с рядом особенностей.

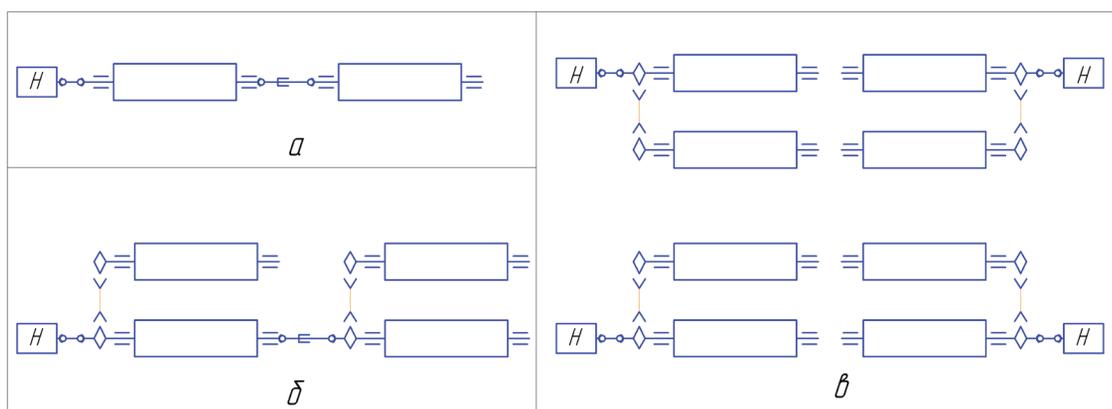


Рисунок 8 – Кинематические схемы трансмиссий мощных стендов с ББ:  
а – с опорой колеса на один барабан;  
б – с опорой колеса на два барабана с одним нагрузочным устройством;  
в – с опорой колеса на два барабана с отдельными нагрузочными устройствами

Figure 8 – Kinematic transmission schemes of power stands with running drums:  
а – with wheel support on one drum;  
б – with wheel support on two drums with one load device;  
с – with wheel support on two drums with different load devices

Колодочные тормоза характеризуются нестабильной величиной крутящего момента ввиду изменчивости условия трения на различных нагрузочно-скоростных режимах, а также склонностью к перегреву. Эти устройства не предусматривают применения для динамических испытаний.

Инерционные тормоза представляют собой вращающуюся маховую массу. Создание тормозного момента осуществляется только при наличии положительной величины углового ускорения на валу (в соответствии со вторым законом Ньютона). Применение такого типа нагрузочных устройств в частности регламентируется правилами ЕЭК ООН №83<sup>2</sup>, №101<sup>3</sup>, №84<sup>4</sup> и ГОСТ 22576–90<sup>5</sup>. Механические тормозные устройства в ряде серийных моделей стендов с ББ (см. таблицу 1) применяются в сочетании с другими типами тормозных

устройств, обеспечивая при этом комбинированный способ торможения.

#### АНАЛИЗ КОМПОНОВОК ТРАНСМИССИЙ СТЕНДОВ С БЕГОВЫМИ БАРАБАНАМИ

Различные схемы трансмиссии стендов с ББ приведены на рисунке 8.

Схема (рисунок 8,а) характеризуется относительно лучшей передачей крутящего момента от колеса к барабану. Жесткая связь и наличие одного нагрузочного устройства упрощает процесс управления таким стендом.

Трансмиссия (рисунок 8,б) аналогичным образом характеризуется относительной простотой управления. Наличие двух пятен контакта колеса с барабаном вызывает повышенный износ шин.

Мощные стенды, построенные по схеме (рисунок 8,в), имеют высокую удельную

<sup>2</sup> ГОСТ Р 41.83–2004 (Правила ЕЭК ООН №83). Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств в отношении выбросов вредных веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей. М. : ИПК Издательство стандартов, 2004.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 41.101–99 (Правила ЕЭК ООН №101). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения объема выбросов диоксида углерода и расхода топлива, а также транспортных средств категории М(1) и N(1), оборудованных электроприводом, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода. М. : ИПК Издательство стандартов, 1999.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 41.84–99 (Правила ЕЭК ООН №84). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива. М. : ИПК Издательство стандартов, 1999.

<sup>5</sup> ГОСТ 22576–90. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний, М. : Издательство стандартов. 1990. 15 с.

тормозную мощность, способны реализовать по сцеплению значительную величину крутящего момента, однако требуют относительно сложной системы по согласованию управления нагрузочными устройствами.

Стенды, обладающие трансмиссией данного типа, позволяют моделировать режимы движения автомобилей по поверхности с низким коэффициентом сцепления, а также движение по криволинейной траектории.

### УСТРОЙСТВО, ПРИБОРЫ И АППАРАТУРА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Как правило, основной задачей измерительного комплекса и регистрирующей аппаратуры является определение частоты вращения барабана (барабанов) и соответствующей величины крутящего момента с последующим расчетом поглощаемой (тормозной режим) либо развиваемой (двигательный режим) механической мощности.

Частота вращения определяется достаточно просто – бесконтактным датчиком (индукционным, магнитным, оптическим и т.д.) или путем контроля параметров рабочего процесса нагрузочного устройства (величины электрических параметров, пульсаций давления рабочей жидкости и т.д.). Процесс измерения крутящего момента обычно является более сложным. Для его определения могут применяться специальные устройства либо методики косвенного расчета.

Устройства, предназначенные для измерения крутящего момента, по принципу работы можно разделить на 4 класса: балансирные динамометры, торсионные приборы, трансмиссионные динамометры и преобразователи для измерения по вторичным параметрам.

Балансирные динамометры (реактивные динамометры, мотор – весы, тормозные динамометры) имеют достаточно простую конструкцию и устанавливаются на подвесном остова нагрузочного устройства. Основным недостатком – влияние относительно большой инерционной массы на результаты измерения в режимах разгона (замедления)<sup>6</sup>, а также не-

обходимость учета КПД трансмиссии такого стенда<sup>7</sup>.

Торсионные приборы (относятся к приборам активного типа) устанавливаются непосредственно в разрез либо на самом трансмиссионном валу. Подразделяются на тензометрические и крутильные. Тензометрические содержат мостовую схему с тензодатчиками, которая размещена на валу совместно с монтажным блоком, аккумулятором и радиопередатчиком; основное назначение устройств – определение направления в напряжении материала вала и эквивалентного значения крутящего момента [9, 10].

Крутильные устройства представлены множеством типов: временные, фазовые, нониусные, разностные, фотоэлектрические<sup>8</sup>. Эти приборы уступают тензометрическим в размерах и точности, однако более просты, надежны, имеют меньшую стойкость и чувствительность к вибрации; основным элементом является торсионный вал, который скручивается пропорционально величине передаваемого крутящего момента. Система измерений предназначена для определения угла скручивания и последующего расчета соответствующего значения крутящего момента<sup>9</sup> [11].

Рекомендации по рациональному применению рассмотренного оборудования в соответствии с видами испытаний приведены в таблице 3.

### ВЫВОДЫ

В работе выполнен обзор различных типов стендов с беговыми барабанами на примере отдельных узлов и агрегатов относительно распространенных серийных моделей.

Приведенный материал может быть полезен как в образовательных, так и научно-инженерных целях и позволит более рационально осуществлять выбор типа стенда с беговыми барабанами в соответствии с конкретной программой и условиями испытаний.

Основное внимание в статье уделено преимуществу особенностей: конфигурации трансмиссии, типа тормозного устройств, барабанов и способа определения показателей тягово-скоростных свойств.

---

<sup>6</sup> Работа автомобильного двигателя на неустановившемся режиме / Е.М. Акатов [и др.]. М.Л. : Маншгиз, 1960. 282с.

<sup>7</sup> ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М. : Изд-во стандартов, 2003. 42 с.

<sup>8</sup> Фролов Л.Б. Измерения крутящего момента. М. : Энергия, 1967. 176 с.

<sup>9</sup> Пат. №72893 Україна, МПК G 01 L 3/10. Пристрій для виміру крутного моменту на обертовому валу з мінливою частотою / заявники та патентовласники: Горожанкін С.А., Криволап В.В., Савенков М.В., Валевач А.С. (Україна); заявл. 03.04.12 ; опубл. 27.08.12, Бюл. № 4. 4с.

Таблица 3  
Рекомендации по выбору и конфигурированию стенов с беговыми барабанами

Table 3  
Recommendations for the choice and configuration of stands with running drums

Предмет испытаний	Нагрузочное устройство (приоритетный порядок)	Компоновка трансмиссии стенов
Ресурс и безотказность	1) электроиндукционный тормоз; 2) гидродинамический тормоз; 3) асинхронная машина; 4) синхронная машина	С опорой колеса на два барабана; отдельные или общие нагрузочные устройства
Тягово-скоростные и тормозные свойства	1) электрическая машина постоянного тока; 2) инерционное устройство	С опорой колеса на два барабана с одним нагрузочным устройством
Топливная экономичность и экологичность в ездовом цикле и тормозные свойства	Инерционное устройство (ЕЭК ООН №83, №101, №84), синхронная машина	С опорой колеса на один или два барабана с общим нагрузочным устройством
Скоростные свойства (ГОСТ 22576–90)	1) синхронная электрическая машина; 2) электроиндукционный тормоз; 3) электрическая машина постоянного тока; 4) инерционное устройство	С опорой колеса на два барабана с одним нагрузочным устройством
Опорно-сцепная проходимость, тормозные свойства	1) электрическая машина постоянного тока; 2) синхронная электрическая машина	С опорой колеса на два барабана с отдельными нагрузочными устройствами
Потери в агрегатах трансмиссии	1) асинхронная машина; 2) синхронная машина	С опорой колеса на один или два барабана с общим нагрузочным устройством
Холодная обкатка силовой установки	1) асинхронная машина; 2) синхронная машина; 3) гидрообъемное нагрузочное устройство	
Все рассмотренные в таблице типы нагрузочных устройств можно рассматривать как комбинированные, т.к. воздействие маховых масс вращающихся элементов и в особенности беговых барабанов идентично работе механического инерционного тормозного устройства		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Научно-производственная фирма «МЕТА». Стенд динамический мощностной СДМ 2-3500.2000. Паспорт М 108.000.00.00 ПС.
2. Динамометрический инерционно-нагрузочный стенд DYNOMAX 4000 AWD BR [Электронный ресурс]. URL: <https://centr-to.ru/good-4887-dinamometricheskiy-inercionno-nagruzochnyy-stend-dynomax-4000-awd-br#> (дата обращения: 10.01.2019).
3. Modular Dynamometer VT-2/B1 [Электронный ресурс]. URL: <https://hitechperformance.co.uk/vtech/vt-2-b1> (дата обращения: 15.01.2019).
4. MSR 1000. "Single Roller Dynamometer" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.maha.co.za/single-roller-dynamometer-msr-1000.htm> (дата обращения: 18.01.2019).
5. FPS 2700 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.maha.de/function-tester-fps-2700.htm> (дата обращения 21.01.2019).
6. Бумага А.Д., Яценко А.Г., Криволап В.В., Савенков Н.В., Скрипкарь В.Г. Стенд для исследования пятна контакта шин с опорной

поверхностью // Автомобильная промышленность. 2016. № 6. С. 30–32.

7. Захаров А.Ю., Шмаков А.Ю. Методика имитации дорожных условий при испытаниях автомобилей с дифференциальной и заблокированной схемами трансмиссий на стендах с беговыми барабанами // Научно-технические технологии. 2017. т.18. № 3. С.47–50.

8. Горожанкин С.А., Савенков Н.В., Скрипкарь В.Г. Применения асинхронной электрической машины в качестве тормозного устройства при определении показателей автомобильного ДВС на неустановившихся режимах работы // Научно-производственный журнал «Автотранспортное предприятие», Москва, 2016. № 9. С.49 – 62.

9. Krimmel W.: Evolution and future of torque measurement technology // Sensors & Transducers Magazine. 2006. № 65(3). pp. 500–508.

10. Гуринов А.С. Измерение крутящего момента на вращающихся валах // Инженерный вестник Дона, СКНЦ ВШ ЮФУ.2012. № 2. С. 9 –14.

11. Горожанкин С.А., Бабанин А.Я., Савенков Н.В., Понякин В.В. Измерение крутящего момента поршневого ДВС колесной машины при его работе на неустановившемся режиме с помощью торсионного крутильного динамометр // Журнал «Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева». Нижний Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2018. №1(120). С.138 – 147.

### REFERENCES

1. Scientific production company "МЕТА". Stand dynamic power SDM 2-3500.2000. Passport M 108.000.00.00 PS.

2. Dynamo inertial load stand DYNOMAX 4000 AWD BR. Available at: <https://centr-to.ru/good-4887-dinamometricheskiy-inercionno-nagruzochnyy-stend-dynomax-4000-awd-br#>.

3. VT-2/B1 Modular Dynamometer. Available at: <https://hitechperformance.co.uk/vtech/vt-2-b1>.

4. MSR 1000. "Single Roller Dynamometer" Available at: <http://www.maha.co.za/single-roller-dynamometer-msr-1000.htm>.

5. FPS 2700. Available at: <https://www.maha.de/function-tester-fps-2700.htm>.

6. Bumaga A.D., Yatsenko A.G., Krivolap V.V., Savenkov N.V., Skripkar V.G., Ctend dlya issledovaniya pyatna kontakta shin s opornoj poverhnostyu [Stand for the spot research of the tires' contact with a basic surface]. Avtomobil'naja promyshlennost', 2016; 6: 30–32 (in Russian).

7. Zaharov A.Yu., Shmakov A.Yu., Metodika imitatsii dorozhnyih usloviy pri ispytaniyah avtomobiley s differentsialnoy i blokirovannoy shemami transmissiy na stendah s begovyimi barabanami [Methods of simulating road conditions when testing vehicles with differential and blocked transmission schemes on stands with cross-country drums]. Naukojomiye tehnologii, 2017; 3(18): 47–50 (in Russian).

8. Gorozhankin S.A., Savenkov N.V., Skripkar V.G. Primeneniya asinhronnoy elektricheskoy mashiny v kachestve tormoznogo ustroystva pri opredelenii pokazateley avtomobilnogo DVS na neustanovivshihsysya rezhimah raboty. [Applications of the asynchronous electric machine as a brake device when determining the position of the automobile engine in unsteady operating modes]. Avtotransportnoye predpriyatie, 2016; 9: 49–62 (in Russian).

9. Krimmel, W. Evolution and future of torque measurement technology. Sensors and Transducers Magazin, 2006; 65(3): 500–508.

10. Gurinov A.S. Izmerenie krutyaschego momenta na vraschayuschihsysya valah [Measurement of torque on rotating shafts].

Inzhenernyj vestnik Dona, 2012; 2: 9–14 (in Russian).

11. Gorozhankin S.A., Babanin A. Ya., Savenkov N.V., Ponyakin V.V. Izmerenie krutyaschego momenta porshneвого DVS kolesnoy mashiny pri ego rabote na neustanovivshemsysya rezhime s pomoschyu torsionnogo krutilnogo dinamometra [Measurement of the torque of a piston internal combustion engine of the wheeled machine during its operation in unsteady mode with the help of the torsion dynamometer]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva, 2018; 1(120): 138–147 (in Russian).

**Поступила 22.03.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Савенков Никита Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей, технологических машин и оборудования», ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2; N.V.Savenkov@donnasa.ru. ORCID ID: 0000-0003-3803-9528.

Понякин Виктор Владиславович – ассистент кафедры «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей, технологических машин и оборудования», ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2; PonyakinVV@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-0475-5051

Чекулаев Станислав Анатольевич – магистрант кафедры «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей, технологических машин и оборудования», ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2; stasryzhavsk@gmail.com. ORCID ID: 0000-0001-9352-5153.

Бутенко Виталий Викторович – магистрант кафедры «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей, технологических машин и оборудования», ГОУ ВПО «Донбас-

ская национальная академия строительства и архитектуры», Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2; [ButenkoVV@yandex.com](mailto:ButenkoVV@yandex.com). ORCID ID: 0000-0003-2155-8479.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Nikita V. Savenkov – Candidate of Philosophy, Assistant Professor of the Department of Technical Operation and Service of Cars, Technological Machines and Equipment, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, ORCID ID: 0000-0003-3803-9528 (286123, Donetsk People Republic, Makeevka, 2 Derzhavina St., e-mail: [N.V.Savenkov@donnasa.ru](mailto:N.V.Savenkov@donnasa.ru)).*

*Victor V. Ponyakin – Assistant of the Department of Technical Operation and Service of Cars, Technological Machines and Equipment, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, ORCID ID: 0000-0002-0475-5051 (286123, Donetsk People Republic, Makeevka, 2 Derzhavina St., e-mail: [PonyakinVV@mail.ru](mailto:PonyakinVV@mail.ru)).*

*Stanislav A. Chekulaev – Undergraduate Student of the Department of Technical Operation*

*and Service of Cars, Technological Machines and Equipment, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, ORCID ID: 0000-0001-9352-51532 (286123, Donetsk People Republic, Makeevka, 2 Derzhavina St., e-mail: [stasryzhavsk@gmail.com](mailto:stasryzhavsk@gmail.com)).*

*Vitaly V. Butenko – Undergraduate Student of the Department of Technical Operation and Service of Cars, Technological Machines and Equipment, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, ORCID ID: 0000-0003-2155-8479(286123, Donetsk People Republic, Makeevka, 2 Derzhavina St., e-mail: [ButenkoVV@yandex.com](mailto:ButenkoVV@yandex.com)).*

#### ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Авторы совместно работали над подготовкой материала публикации. Вклад каждого из соавторов составляет 25%.*

#### AUTHORS' CONTRIBUTION

*The authors have equal contribution to all sections of the paper.*

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВМЕСТИМОСТИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

А.И. Фадеев, Е.В. Фомин\*, С. Алхуссейни  
Сибирский федеральный университет,  
Россия, г. Красноярск  
\*2325337@mail.ru

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Одним из важнейших показателей качества транспортного обслуживания населения является коэффициент использования вместимости подвижного состава. Данный параметр непосредственно влияет на экономическую эффективность транспортной организации: перевозчик заинтересован в наибольшем значении коэффициента использования вместимости. Пассажиру, наоборот, предпочтительнее обслуживание без переполнения подвижного состава.

На практике рассчитывается средний за соответствующий период коэффициент динамического использования вместимости транспорта, который применяется при определении пассажирских тарифов, анализе исполненного движения на предмет имеющихся резервов провозных возможностей, планирования перевозочного процесса.

В статье рассматривается методика расчета предельно допустимого значения коэффициента использования вместимости, исходя из обеспечения норматива наполнения салона на всем протяжении маршрутов в течение всего периода движения транспорта.

**Материалы и методы.** Предложено решение определения предельно допустимого наполнения подвижного состава при работе на регулярных городских маршрутах, решена задача на основе анализа зависимости коэффициента использования вместимости от параметров пассажирских потоков, среднего времени работы подвижного состава на маршруте и неравномерности скорости сообщения в течение работы пассажирского транспорта. Предложено оценивать колебания скорости сообщения в течение движения городского пассажирского транспорта посредством коэффициента неравномерности скорости сообщения.

**Результаты.** Установлено, что коэффициент использования вместимости подвижного состава существенно зависит от параметров пассажирских потоков, среднего времени работы подвижного состава на маршруте и неравномерности скорости сообщения в течение периода движения транспорта.

**Обсуждение и заключение.** Полученные зависимости позволяют рассчитывать предельно допустимое значение коэффициента использования вместимости с учетом параметров планируемого транспортного процесса. В зависимости от условий эксплуатации коэффициент использования вместимости варьируется в значительных пределах от 0,2 до 0,4.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** пассажирские потоки, наполнение подвижного состава, коэффициент использования вместимости, коэффициент неравномерности пассажирских потоков, коэффициент неравномерности скорости сообщения.

© А.И. Фадеев, Е.В. Фомин, С. Алхуссейни



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# URBAN PUBLIC TRANSPORT: MARGINAL VALUE OF THE CAPACITY FACTOR

A.I. Fadeev, Ye.V. Fomin, S. Alhusseini  
Siberian Federal University,  
Krasnoyarsk, Russia  
\*2325337@mail.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** One of the most important indicators determining the public transport service quality is the capacity utilization factor of transport fleet. This parameter directly effects on the economic efficiency of the transport organization. For the carrier it is desirable from an economic point of view that the value of the capacity utilization factor takes on the greatest value. Passengers, on the contrary, prefer to transfer without overfull capacity of transport vehicles.

Moreover, this factor is used in determining travel fares, analyzing the executed movement regarding the availability of reserves in carrying capacity and planning transportation process.

The paper discusses the method of marginal value calculation of the transport fleet's capacity utilization factor of urban public transport based on ensuring standard vehicle's cabin filling limits.

**Materials and methods.** The authors solved the task of determining the filling marginal value for transport fleet while working on regular urban routes by analyzing the dependence of the capacity utilization factor on the passenger traffic parameters, the average operating time of the transport fleet on the route and the speed fluctuation during public transport operation. The authors also proposed the indicator of the transportation speed fluctuation during the operation of urban public transport.

**Results.** The authors found out that the capacity utilization factor of transport fleet substantially depended on the passenger traffic parameters, on the average operating time of the transport fleet and on the speed fluctuation during public transport operation.

**Discussion and conclusion.** The obtained dependences allow us calculating the marginal values of capacity utilization factor with taking into account the parameters of the planned transport process. The standard capacity utilization factor varies within considerable limits from 0.2 to 0.4, depending on the operating conditions.

**KEYWORDS:** passenger traffic, filling transport fleet, capacity utilization factor, factor of passenger traffic fluctuation.

© A.I. Fadeev, Ye.V. Fomin, S. Alhusseini



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

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших параметров качества транспортного обслуживания населения является коэффициент использования вместимости подвижного состава [1, 2, 3]. Данный показатель применяется при расчете пассажирских тарифов<sup>1</sup>, планировании транспортного обслуживания: определении структуры парка подвижного состава, интервалов движения и т.д.<sup>2</sup> [4, 5, 6, 7, 8]. В проектных расчетах применяют средние значения данного показателя за определенный период времени (например, за время движения транспорта, в пиковые периоды пассажирских потоков и др.)<sup>3</sup> [9, 10, 11].

Сегодня для получения параметров использования вместимости рекомендуется проводить обследования пассажирских потоков, которое предполагает существенные затраты ресурсов [12].

Известные рекомендации для коэффициента использования вместимости заключаются в следующем<sup>4</sup>: в пиковые периоды для наиболее напряженных участков маршрута следует предусматривать значения данного показателя в пределах 0,7 до 0,8, а в среднем за день работы транспорта не более 0,3 (30% использования вместимости салона транспортного средства). Однако эти выводы не имеют достаточно серьезного обоснования, и в них не отражена зависимость коэффициента использования вместимости от параметров транспортного процесса, условий движения и пассажирских потоков.

Данная работа выполнена по настоятельной просьбе специалистов Норильского пассажирского автотранспортного предприятия (МУП НПОПАТ), обосновавших актуальность рассматриваемой задачи принятой методики определения пассажирских тарифов, в кото-

рой коэффициент использования вместимости установлен на недостижимом для практики уровне. Недостаток знаний о зависимости коэффициента использования вместимости от параметров транспортного процесса, условий движения и пассажирских потоков не позволяет осуществлять эффективное планирование транспортного процесса, зачастую приводит к принятию нерациональных решений по корректировке маршрутов, расписаний движения и т.д. Вследствие нерационального планирования не всегда обеспечивается должное качество транспортного обслуживания, особенно в периоды пиковых пассажиропотоков.

В работе [13] рассмотрено влияние вместимости на коэффициент использования вместимости подвижного состава городского пассажирского транспорта. В работе [14] определен подход к нормированию коэффициента использования вместимости. В настоящей статье в развитии положений, изложенных в [14], исследована зависимость рассматриваемого показателя от пассажирских потоков, скорости сообщения на транспортной сети и обоснованы рекомендации по предельно допустимым значениям коэффициента использования вместимости подвижного состава.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Известно<sup>5</sup>, что пассажирский поток нестационарен: он изменяется по длине маршрута и времени движения пассажирского транспорта. В процессе движения по маршруту количество пассажиров в транспортном средстве непрерывно изменяется. В результате колебаний пассажирских потоков снижается коэффициент использования вместимости подвижного состава, ухудшаются качественные характеристики пассажирских перевозок<sup>6</sup>, поэтому учет динамики формирования пассажиропо-

---

<sup>1</sup> Методические рекомендации по расчету экономически обоснованной стоимости перевозки пассажиров и багажа в городском и пригородном сообщении автомобильным и городским наземным электрическим транспортом общего пользования согласно приложению к настоящему распоряжению. Утв. распоряжением Минтранса России от 18.04.2013г. N НА-37-р.

<sup>2</sup> Национальная концепция устойчивых городских транспортных систем. М. : Издательство «Алекс» (А.А. Поликанин), 2013. 192 с.

<sup>3</sup> Ольховский С.Ю., Яворский В.В. Моделирование функционирования и развития маршрутизированных систем городского пассажирского транспорта; М-во образования Рос. Федерации. Сиб. гос. автомобил.-дорож. акад. Омск : Изд-во СибАДИ, 2001. 135 с.

<sup>4</sup> Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: справочное пособие. М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. 413 с.

<sup>5</sup> Теория городских пассажирских перевозок: учебное пособие для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. М.: Высш. школа, 1980. 535 с.

<sup>6</sup> Там же.

токов во времени является одной из главных задач транспортных расчетов. Особое значение имеет обеспечение перевозок в периоды пиковых пассажиропотоков.

Определим максимально возможное значение коэффициента использования вместимости. Максимально возможную величину данного показателя будем устанавливать, исходя из следующего базового условия: на наиболее напряженном участке маршрута в пиковые периоды количество пассажиров в транспортном средстве не должно превышать значение вместимости, установленной производителем транспортного средства.

В маршруте выделяют участки с наибольшей интенсивностью пассажирского потока, так называемые наиболее напряженные участки. На таких участках коэффициент статического использования вместимости

$$\gamma_{\max} = q_{\max} / q_n \leq 1, \quad (1)$$

где  $\gamma_{\max}$  – коэффициент статического использования вместимости;

$q_{\max}$  – количество пассажиров в салоне транспортного средства на наиболее напряженном участке маршрута, пасс.;

$q_n$  – номинальная вместимость подвижного состава, пасс.

В среднем за рейс, оборот или период движения наполнение подвижного состава оценивается посредством коэффициента динамического использования вместимости<sup>7</sup>:

$$\gamma_d = P_f / P_n, \quad (2)$$

где  $P_f$  – фактическая транспортная работа, пасс.-км;

$P_n$  – транспортная работа при полном использовании вместимости подвижного состава, пасс.-км.

Выражение (2) может быть записано

$$\gamma_d = \bar{q} / q_n, \quad (3)$$

где  $\bar{q}$  – среднее количество пассажиров в транспортном средстве за рейс, оборот или период движения, пасс.;

$$\bar{q} = P_f / L, \quad (4)$$

$L$  – пробег транспортного средства по маршруту за рассматриваемый период (рейс, оборот или период движения), км.

Определение параметров пассажирских потоков (например по результатам их натурного обследования) обычно осуществляют дифференцированно по часам работы транспорта. Колебания интенсивности пассажиропотока в течение часа учитывают посредством коэффициента внутрисуточной неравномерности, который рассчитывается следующим образом<sup>8</sup>. Час подразделяется на несколько расчетных периодов ( ), в каждом из которых определяется количество перевезенных пассажиров. Коэффициент внутрисуточной неравномерности – это отношение наибольшего значения количества пассажиров в расчетном периоде к среднему за час:

$$k_h = q_{\tau}^{\max} / \bar{q}_h, \quad (5)$$

где  $q_{\tau}^{\max}$  – наибольшее количество пассажиров в расчетном периоде,  $\tau$ ;

$\bar{q}_h$  – среднее количество пассажиров в расчетном периоде за ч.

Таким образом, для предотвращения переполнения транспортного средства за час движения в пиковом периоде максимально допустимое количество пассажиров на наиболее напряженном участке маршрута в среднем за пиковый час движения следует принять

$$q_h \leq q_n / k_h, \quad (6)$$

где  $q_n$  – номинальная вместимость подвижного состава, пасс.

Определим коэффициент использования вместимости за рейс так, чтобы на наиболее напряженном участке маршрута исключить переполнение салона транспортного средства. В работе<sup>9</sup> предлагается учитывать неравномерность распределения пассажиров по длине маршрутов посредством коэффициента, представляющего собой отношение максимального пассажиропотока к среднему. Поскольку количество пассажиров в транспортном сред-

<sup>7</sup> Теория городских пассажирских перевозок: учебное пособие для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. М.: Высш. школа, 1980. 535 с.

<sup>8</sup> Там же.

<sup>9</sup> Теория городских пассажирских перевозок: учебное пособие для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. М.: Высш. школа, 1980. 535 с.

стве пропорционально пассажиропотоку, данный коэффициент можно использовать для расчета среднего количества пассажиров в салоне за рейс, при котором на наиболее напряженном участке маршрута будет выполняться соотношение (6), т.е.

$$q_r \leq q_h / k_m, \quad (7)$$

где  $q_r$  – среднее количество пассажиров в транспортном средстве за рейс, пасс.;

$k_m$  – коэффициент неравномерности распределения транспортной нагрузки по длине маршрута<sup>10</sup>.

Существует неравномерность пассажирских потоков по направлениям маршрута, которая оценивается посредством коэффициента, представляющего собой отношение пассажирооборота более нагруженного направления к среднему пассажирообороту обоих направлений<sup>11</sup>. Учитывая, что количество пассажиров в транспортном средстве пропорционально пассажирообороту, можно записать следующее выражение для среднего количества пассажиров в салоне за оборот по маршруту:

$$q_o \leq q_r / k_o, \quad (8)$$

где  $q_r$  – среднее количество пассажиров в транспортном средстве за рейс в более напряженном направлении;

$q_o$  – среднее количество пассажиров в транспортном средстве за оборот;

$k_o$  – коэффициент неравномерности пассажирских потоков по направлениям маршрута.

Исходя из неравенств (6, 7 и 8), среднее количество пассажиров в транспортном средстве за оборот

$$q_o \leq \frac{q_n}{k_h k_m k_o}. \quad (9)$$

Значение коэффициента динамического использования вместимости за оборот по маршруту можно рассчитать как

$$\gamma_o = q_o / q_n.$$

Таким образом, с учетом (9):

$$\gamma_o \leq \frac{1}{k_h k_m k_o}. \quad (10)$$

В работе<sup>12</sup> даны следующие значения коэффициентов неравномерности пассажирских потоков: внутрисалонной ( $k_h$ ) от 1,1 до 1,4; по длине маршрутов ( $k_m$ ) от 1,13 до 2,3; по направлениям ( $k_o$ ) от 1,5 до 1,75. По результатам натурных обследований пассажирских потоков транспорта общего пользования г. Красноярска установлено, что в среднем для общественного транспорта коэффициент внутрисалонной неравномерности ( $k_h$ ) составляет 1,1, коэффициент неравномерности распределения транспортной нагрузки по длине маршрута ( $k_m$ ) – 1,9, коэффициент неравномерности по направлениям маршрута ( $k_o$ ) – 1,16. Следовательно, коэффициент использования вместимости за один оборот по маршруту в пиковый период наибольшей интенсивности пассажиропотоков не должен превышать 0,41. В противном случае на наиболее напряженных участках маршрута перевозки будут осуществляться с превышением нормативной вместимости транспортного средства.

На 84% маршрутов общественного транспорта г. Красноярска коэффициент неравномерности распределения транспортной нагрузки находится в пределах от 1,6 до 2,0 (рисунок 1). Таким образом, для большинства маршрутов максимально возможное значение коэффициента использования вместимости в пиковый период составит от 0,39 до 0,49.

На основании изложенного можно заключить, что коэффициент использования вместимости должен нормироваться для каждого маршрута в отдельности. Требуемые для этого параметры коэффициента неравномерности нагрузки рекомендуется устанавливать по результатам выборочного обследования пассажиропотоков. Данный показатель достаточно стабилен: в течение времени движения транспорта его колебания по каждому маршруту не превышают 20%.

При расчете предельного коэффициента использования вместимости транспортного средства в среднем за день работы на маршруте необходимо учесть динамику пассажирских потоков по часам суток, которую можно

<sup>10</sup> Там же.

<sup>11</sup> Там же.

<sup>12</sup> Теория городских пассажирских перевозок: учебное пособие для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. М.: Высш. школа, 1980. 535 с.

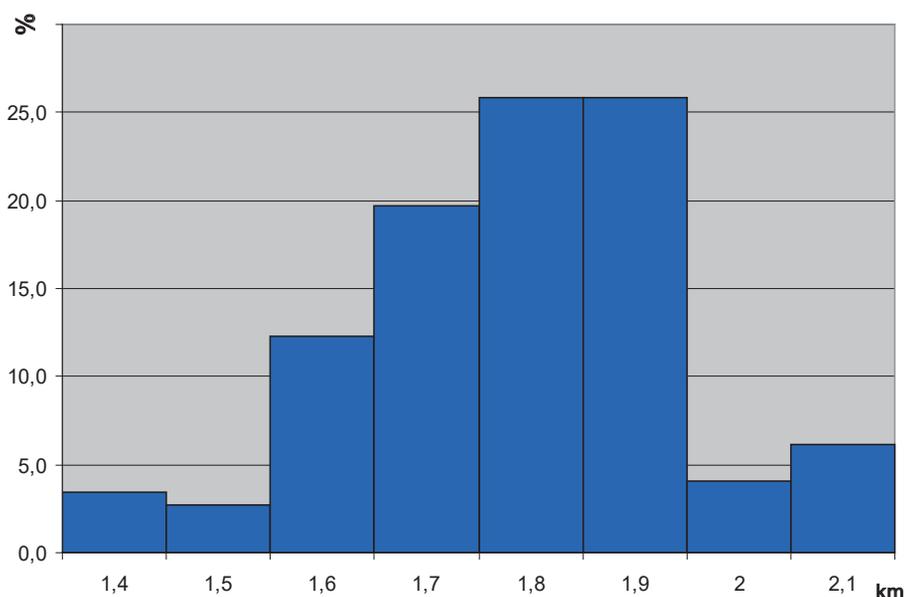


Рисунок 1 – Гистограмма распределения маршрутов общественного транспорта г. Красноярска по коэффициенту неравномерности транспортной нагрузки

Figure 1 – Histogram of public transport routes distribution in Krasnoyarsk according to the traffic irregularity

оценить посредством коэффициента часовой неравномерности перевозок. Данный коэффициент определяют отношением объема перевозок максимального часа пик к среднечасовому за период движения транспорта<sup>13</sup>. Поскольку объем перевозок пропорционален транспортной работе, коэффициент часовой неравномерности транспортной работы можно определить следующим образом:

$$k_p = P'_h / \bar{P}_h, \quad (11)$$

где  $P'_h$  – наибольший объем часовой транспортной работы за рабочий день;  
 $\bar{P}_h$  – средний часовой объем транспортной работы за рабочий день.

На рисунке 2 приведена динамика транспортной работы по часам суток для городского пассажирского транспорта г. Красноярска.

Рассмотрим минимальный предел коэффициента использования вместимости. Наименьшую теоретическую транспортную работу на единицу подвижного состава можно получить при условии, если транспортные средства будут работать на маршруте весь период движения транспорта. В этом случае средняя

часовая транспортная работа на единицу подвижного состава составит

$$\bar{P}_{hA} = \bar{P}_h / A, \quad (12)$$

где  $A$  – количество подвижного состава, ед.

Теоретически минимальное среднее количество пассажиров в транспортном средстве (если транспорт работает на маршрутах весь период движения):

$$q_{\min} = q_o / k_p. \quad (13)$$

Коэффициент часовой неравномерности пассажирских потоков для общественного транспорта г. Красноярска составляет порядка 1,8. Таким образом, теоретический минимальный предел коэффициента использования вместимости будет равен 0,23.

Транспортная работа единицы подвижного состава

$$\bar{P}_A = q_{\min} V \bar{T}, \quad (14)$$

где  $V$  – скорость подвижного состава, км/ч;  
 $\bar{T}$  – продолжительность периода движения пассажирского транспорта, ч.

<sup>13</sup> Теория городских пассажирских перевозок: учебное пособие для вузов / Ефремов И.С, Кобозев В.М., Юдин В.А. М.: Высш. школа, 1980. 535 с.

На маршрутах в течение дня в разные периоды работает неодинаковое число транспортных средств. Количество подвижного состава в каждый период планируется в зависимости от установленного максимального интервала движения, переходных процессов, ограничений режима труда и отдыха водителей и т.д. Выполненная транспортная работа единицы подвижного состава при этом может быть определена как

$$\bar{P}_A = q_A V \bar{T}_m, \quad (15)$$

где  $q_A$  – среднее количество пассажиров в транспортном средстве, пасс.

$\bar{T}_m$  – среднее время работы подвижного состава на маршруте, ч.

На основании выражений (14 и 15) среднее количество пассажиров в транспортном средстве при среднем времени работы на маршруте  $\bar{T}_m$ :

$$q_A = \frac{q_{\min} \bar{T}}{\bar{T}_m}, \quad (16)$$

где  $\bar{T}$  – продолжительность периода движения пассажирского транспорта, ч.

При этом, естественно, должно быть выполнено условие

$$q_A \leq q_o. \quad (17)$$

Рекомендуемое наименьшее среднее время подвижного состава на маршруте

$$\bar{T}_m = \frac{\bar{q} \bar{T}}{q_o} = \frac{\bar{T}}{k_p}. \quad (18)$$

Для пассажирского транспорта г. Красноярска при среднем коэффициенте часовой неравномерности пассажирских потоков ( $k_p$ ), равном 1,8, и времени движения транспорта 18 часов в сутки среднее время работы подвижного состава на маршрутах не должно быть меньше 10 часов. В противном случае в межпиковое время не будет обеспечиваться соответствие вместимости подвижного состава и интенсивности пассажирских потоков: на самых нагруженных перегонах маршрутной сети будет наблюдаться превышение номи-

нальной (нормативной) вместимости салонов транспортных средств.

На рисунке 3 дана иллюстрация параметров использования вместимости подвижного состава. Зона  $P_{\max}$  показывает теоретическую транспортную работу при полном использовании вместимости транспортного средства.  $P_{\min}$  – транспортная работа при теоретически минимально возможном использовании вместимости (весь подвижной состав работает весь период движения транспорта). Зона  $P_o$  обозначает реальный процесс обслуживания маршрутов, при котором количество подвижного состава в течение рабочего дня изменяется. Среднее время работы на маршруте не должно быть меньше  $\bar{T}_m$ . Предел времени  $\bar{T}_m$  обозначает режим работы транспорта, при котором в течение всего периода движения среднее количество пассажиров в транспортном средстве будет соответствовать предельно допустимому значению.

Таким образом, коэффициент динамического использования вместимости подвижного состава в зависимости от среднего времени работы на маршруте рассчитывается как

$$\bar{\gamma} \leq \frac{\bar{T}}{\bar{T}_m k_h k_m k_o}. \quad (19)$$

На коэффициент использования вместимости оказывает влияние транспортный трафик. Скорость транспортных потоков в современных крупных городах существенно изменяется в течение суток<sup>14, 15, 16</sup> [15, 16]. В пиковые периоды может наблюдаться заметное снижение скорости сообщения транспорта общего пользования. В результате будет наблюдаться увеличение количества пассажиров в транспортных средствах, поскольку

$$q_A = \frac{Q_h l_n}{AV}, \quad (20)$$

где  $Q_h$  – количество перевезенных пассажиров за час движения транспорта, пасс.-ч;

$l_n$  – средняя дальность поездки пассажира, км;

$V$  – скорость движения, км/ч.

<sup>14</sup> Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. 1977. 303 с.

<sup>15</sup> Горев А. Э., Бёттгер К., Прохоров А. В., Гизатуллин Р. Р. Транспортное моделирование. 1-е издание. СПбГАСУ. СПб.: СПбГАСУ, 2015. С. 30.

<sup>16</sup> Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 352 с.

Из выражения (20) следует, что при снижении скорости движения увеличивается среднее количество пассажиров в транспортном средстве, т.е. может наблюдаться переполнение салона на наиболее напряженных участках маршрута. Для предотвращения превышения вместимости следует увеличить количество подвижного состава, т.е. уменьшить значение коэффициента использования вместимости (19), которое рассчитано без учета снижения скорости движения в пиковые периоды.

По аналогии с другими коэффициентами изменение скорости сообщения за время движения транспорта будем учитывать посредством коэффициента неравномерности скорости сообщения

$$k_v = V_{\text{пик}} / \bar{V}, \quad (21)$$

где  $V_{\text{пик}}$  – скорость сообщения в час пик;  $\bar{V}$  – средняя скорость сообщения за день работы пассажирского транспорта.

В результате с учетом (21) получаем следующее выражение для определения предельно

допустимого коэффициента использования вместимости подвижного состава:

$$\bar{\gamma} \leq \frac{\bar{T}k_v}{\bar{T}_m k_h k_m k_o}. \quad (22)$$

Минимально возможное среднее время работы подвижного состава на маршрутах следует откорректировать на коэффициент неравномерности скорости сообщения

$$\bar{T}_m = \frac{\bar{T}k_v}{k_p}. \quad (23)$$

На рисунке 4 приведена зависимость максимально допустимого значения коэффициента использования вместимости за время движения транспорта от среднего времени работы подвижного состава на маршруте, полученная по результатам обследования пассажирских потоков г. Красноярск. Из рисунка видно, что коэффициент использования вместимости подвижного состава существенно зависит от среднего времени работы на маршруте и неравномерности скорости сообщения.

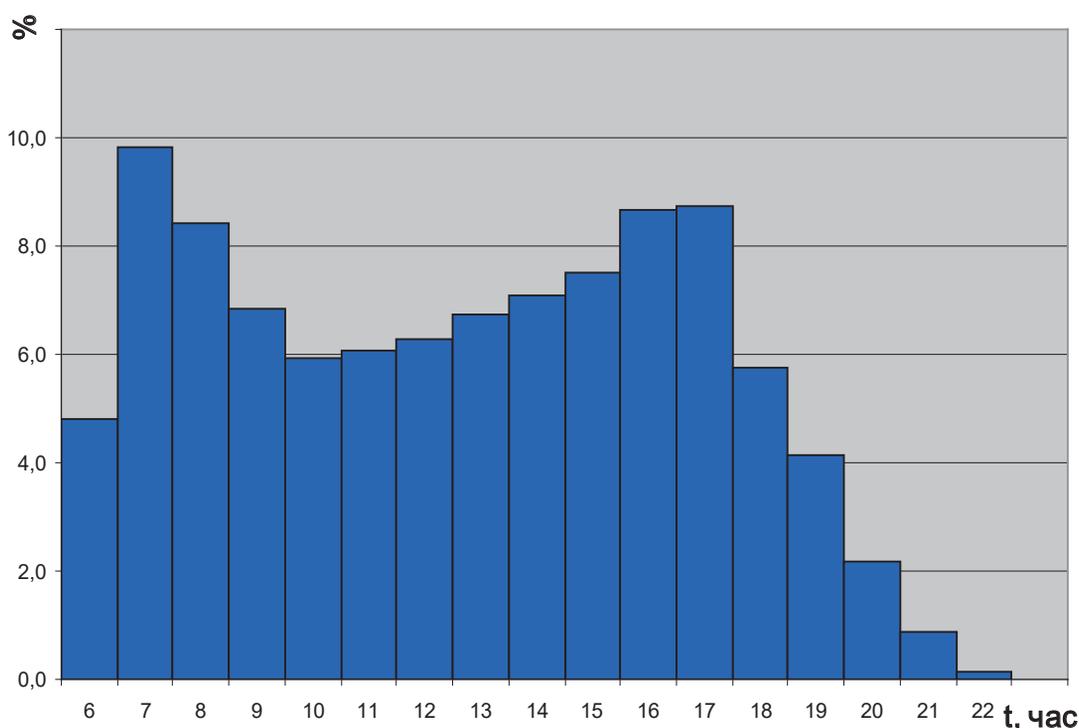


Рисунок 2 – Динамика транспортной работы по часам суток (г. Красноярск)

Figure 2 – Dynamics of transport operation by the hour of the day (Krasnoyarsk)

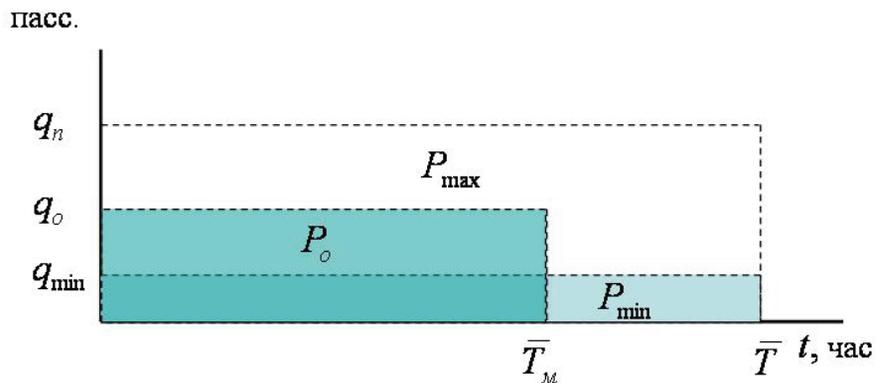


Рисунок 3 – Иллюстрация параметров использования вместимости транспортных средств

Figure 3 – Capacity utilization parameters of the vehicle

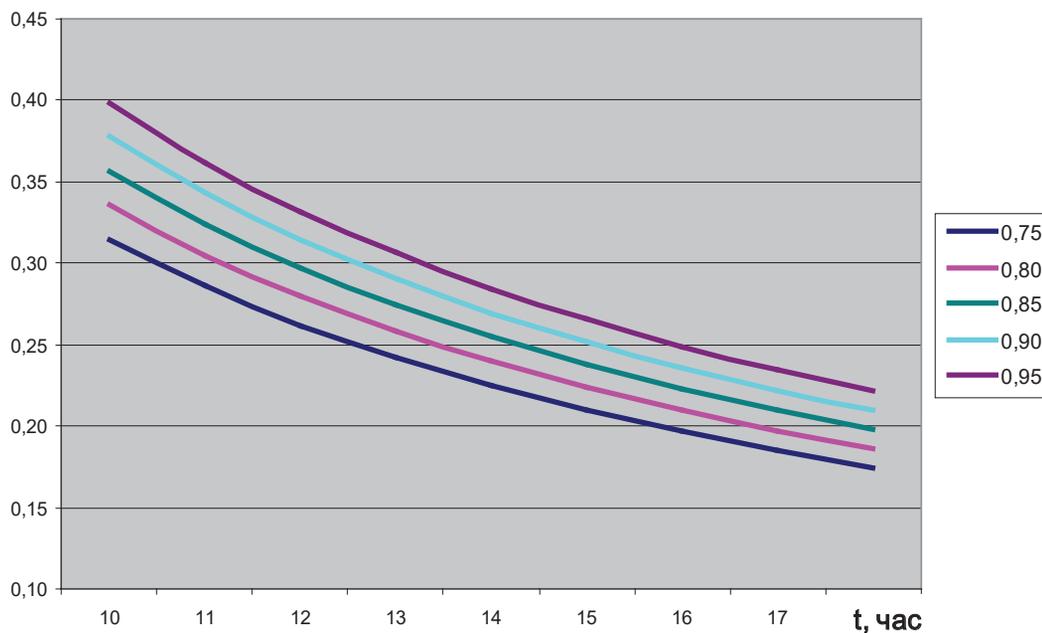


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента использования вместимости подвижного состава от среднего времени на маршруте и неравномерности скорости сообщения (коэффициент неравномерности скорости сообщения: 0,75 – 0,95)

Figure 4 – Dependence of standard capacity utilization factor for an operation day on the average vehicle operating time and fluctuation in transfer speed (irregular transfer speed factor: 0.75 – 0.95)

## РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Установлено, что коэффициент использования вместимости подвижного состава существенно зависит от параметров пассажирских потоков, среднего времени работы подвижного состава на маршруте и неравномерности скорости сообщения в течение пе-

риода движения транспорта. Верхний предел коэффициента использования вместимости за оборот по маршруту в пиковые периоды составляет порядка 0,4, т.е. среднее количество пассажиров в транспортном средстве за оборот обеспечивает использование около 40% номинальной вместимости подвижного состава.

2. Полученные в статье зависимости позволяют определять предельно допустимое значение коэффициента использования вместимости с учетом параметров планируемого транспортного процесса, что обеспечивает выполнение соответствующих нормативов вместимости подвижного состава. В результате появляется возможность осуществлять более эффективное планирование транспортного процесса, принятие объективных решений по корректировке маршрутов, расписаний движения и т.д. Рациональное транспортное планирование позволит повысить уровень качества транспортного обслуживания, особенно в периоды пиковых пассажиропотоков.

3. В зависимости от условий эксплуатации предельно-допустимый коэффициент использования вместимости варьируется в значительных пределах от 0,2 до 0,4. Коэффициент использования вместимости следует рассчитывать отдельно для каждого маршрута. Необходимый для расчетов коэффициент неравномерности нагрузки по длине маршрута следует определять по результатам выборочного обследования пассажиропотоков, которое можно осуществлять посредством специально оборудованных транспортных средств для автоматизированного учета пассажиров, данных системы безналичной оплаты проезда и т.д.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведена методика расчета предельно допустимого коэффициента использования вместимости подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования, которая обеспечивает планирование перевозок пассажиров без превышения установленных пределов наполнения салона подвижного состава. Более рациональное транспортное планирование позволит повысить уровень качества транспортного обслуживания, особенно в периоды пиковых пассажиропотоков.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., USA, 2000. 1134 p.
2. Худяков В. Исследование оценки качества обслуживания пассажиров городским транспортом в Риге до 2018 года // Research and technology – step in to the future. 2007. Vol. 2. № 2. pp. 5–14.
3. Михайлов А.Ю., Шаров М.И. К вопросу развития современной системы критериев оценки качества функционирования общественного пассажирского транспорта // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 9. № 19 (146). С. 64–66.
4. Якунина Н.В. Совершенствование методологии определения структуры подвижного состава городского пассажирского автомобильного транспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. №10 (129). С.13–19.
5. Daganzo C.F. Schedule instability and control. In: // Fundamentals of Transportation and Transportation Operations, Elsevier, New York, N.Y. (1997). pp. 304–309.
6. Вельможин А.В., Гудков В.А., Куликов А.В., Сериков А.А. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта: монография, Волгоград. 2002. 256 с.
7. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов. Москва: Логос, 2013. С. 45–46.
8. Яценко С.А. Анализ методик расчета потребности автобусов для городских маршрутов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 5. С. 196–202.
9. Ольховский С.Ю., Сорокин С.В. О формировании транспортных систем городов, рядах вместимости, сфере использования маршрутных такси // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2007. Вып. 6. Машины, технологии и процессы в строительстве: труды Междунар. конгресса. 6–7 дек. 2007 г. С. 266–269.
10. Корягин М.Е. Интервал движения по маршруту, минимизирующий суммарные затраты транспорта и пассажиров // Вестник КузГТУ. 2005. № 1. С. 92–93.
11. Фадеев А.И., Фомин Е.В. Методика решения задачи определения оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. № 1. С. 218–227.
12. Fadeev S. Alhousseini E.N. Belova Monitoring Public Transport Demand Using Data From Automated Fare Collection System. Advances in Engineering Research, volume 158 Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018), 2018. pp. 5–12.

13. Оспанов Д.Т. Влияние вместимости на коэффициент использования вместимости подвижного состава городского пассажирского транспорта // Вестник гражданских инженеров. № 2 (61). 2017. С. 263–268.

14. Фадеев А.И., Ковалев В.А., Фомин Е.В. Нормирование параметров системы пассажирского транспорта общего пользования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №12. С. 179–183.

15. Колесов В.И., Гуляев М.Л., Осипенко А.М. Идентификация модели реального транспортного потока в городе // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 10 (129). С. 43–48.

16. Петров А.И. Влияние внешней среды на устойчивость системы пассажирского общественного транспорта. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 300 с.

### REFERENCES

1. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., USA, 2000. 1134 p.

2. Hudjakov V. Issledovanie ocenki kachestva obsluzhivaniya passazhirov gorodskim transportom v Rige do 2018 goda [Quality research of passenger service by urban public transport in Riga until 2018]. Research and technology – step into the future. 2007; 2(2): 5–14 (in Russian).

3. Mihajlov A.Ju., Sharov M.I. K voprosu razvitija sovremennoj sistemy kriteriev ocenki kachestva funkcionirovaniya obshhestvennogo passazhirskogo transporta [Development of the Modern System of Criteria for Assessing the Quality of Public Transport] Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2014; 9. No.19 (146): 64–66 (in Russian).

4. Jakunina N.V. Sovershenstvovanie metodologii opredelenija struktury podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo avtomobil'nogo transporta [Improving the methodology for determining the structure of the transport fleet of urban public transport]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011; 10(129): 13–19 (in Russian).

5. Daganzo C.F. Schedule instability and control. Fundamentals of Transportation and Transportation Operations, Elsevier, New York, N.Y. (1997). pp. 304–309.

6. Vel'mozhin A.V., Gudkov V.A., Kulikov A.V., Serikov A.A. Jefferktivnost' gorodskogo passazhirskogo obshhestvennogo transporta: Monografija [Efficiency of urban public transport: monograph]. Volgograd, gos. tehn. uni. Volgograd, 2002: 256 (in Russian).

7. Trofimenko Ju.V., Jakimov M.R. Transportnoe planirovanie: formirovanie jefferktivnyh transportnyh sistem krupnyh gorodov [Transport planning: the formation of efficient transport systems of large cities.] Moscow: Logos, 2013: 45–46 (in Russian).

8. Jacenko S.A. Analiz metodik rascheta potrebnosti avtobusov dlja gorodskih marshrutov [Analysis calculating methods of buses requirements for urban routes]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2016; 5: 196–202 (in Russian).

9. Ol'hovskij S. Ju. Sorokin S. V. O formirovanii transportnyh sistem gorodov, rjadah vmesti-mosti, sfere ispol'zovanija marshrutnyh taksi [Formation of transport systems, rows capacity, taxis usage sphere]. Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii. 2007; 6. Mashiny, teh-nologii i processy v stroitel'stve : trudy Mezhdunar. kongressa. 6-7 dek. 2007. pp. 266–269 (in Russian).

10. Korjagin M.E. Interval dvizhenija po marshrutu, minimizirujushhij summarnye zatraty transporta i passazhirov [Interval of movement on the route, minimizing the total cost of transport and passengers] Vestnik KuzGTU. 2005; 1: 92–93 (in Russian).

11. Fadeev A.I., Fomin E.V. Metodika reshenija zadachi opredelenija optimal'noj struktury parka podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta obshhego pol'zovanija [Methods for solving the problem of determining the optimal structure of the transport fleet of urban public transport] Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2018; 1: 218–227 (in Russian).

12. Fadeev A., Alhuseini S., Belova E.N. Monitoring Public Transport Demand Using Data from Automated Fare Collection System Advances in Engineering Research, volume 158 Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). 2018. pp. 5–12.

13. Ospanov D.T. Vlijanie vmestimosti na kojefficient ispol'zovanija vmestimosti podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta [Capacity effect on the utilization factor of the transport fleet of urban passenger transport]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2017; 2(61): 263–268 (in Russian).

14. Fadeev A.I., Kovalev V.A., Fomin E.V. Normirovanie parametrov sistemy passazhirskogo transporta obshhego pol'zovanija [Standardization parameters of public transport]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2014; 12: 179–183 (in Russian).

15. Kolesov V.I. Guljaev M.L., Osipenko A.M. Identifikacija modeli real'nogo transportnogo potoka v gorode [Identification of the real traffic flow model in the city]. Vestnik Orenburgskogo gosdarstvennogo universiteta. 2011; 10 (129): 43–48 (in Russian).

16. Petrov A. I. Vlijanie vneshnej sredy na ustojchivost' sistemy passazhirskogo obshhestvennogo transporta [Influence of the external environment on the sustainability of the public transport system]. Tjumen': TjumGNGU, 2011. 300 p. (in Russian).

**Поступила 19.03.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

**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

Фадеев Александр Иванович – канд. техн. наук, доц. кафедры транспорта Сибирского федерального университета (660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д. 26. e-mail: fai@ak1967.ru).

Фомин Евгений Валерьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры транспорта Сибирского федерального университета (660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д. 26. e-mail: 2325337@mail.ru).

Алхуссейни Сами – аспирант кафедры транспорта Сибирского федерального университета (660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д. 26. e-mail: eng.sami20143@gmail.com).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr I. Fadeev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Transport Department, Siberian Federal University (660074, Krasnoyarsk, 26 Akademika Kirenskogo St., e-mail: fai@ak1967.ru).

Evgeny V. Fomin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Transport

Department, Siberian Federal University (660074, Krasnoyarsk, 26 Akademika Kirenskogo St., and e-mail: 2325337@mail.ru).

Sami Alhousseini – Postgraduate Student of the Transport Department, Siberian Federal University (660074, Krasnoyarsk, 26 Akademika Kirenskogo St., e-mail: eng.sami20143@gmail.com).

#### ВКЛАД СОАВТОРОВ

Фадеев А.И. Разработка методики расчета предельно допустимого значения коэффициента использования вместимости, исходя из обеспечения норматива наполнения салона на всем протяжении маршрутов в течение всего периода движения транспорта. Подготовка и анализ исходных данных для расчетов.

Фомин Е.В. Подведение расчетов, анализ полученных результатов, участие в разработке методики расчета предельно допустимого значения коэффициента использования вместимости, исходя из обеспечения норматива наполнения салона на всем протяжении маршрутов в течение всего периода движения транспорта.

Алхуссейни С. Анализ состояния вопроса. Обзор литературных источников. Участие в подготовке и анализе исходных данных для расчетов.

#### AUTHORS' CONTRIBUTION

Aleksandr I. Fadeev – methodology for calculating of the marginal value of the capacity utilization factor calculation, based on ensuring standard vehicle's cabin limits throughout routes during the entire period of movement; preparing and analyzing input calculation data.

Evgeny V. Fomin – performing calculations; analyzing obtained results; participation in the methodology development for the marginal value of the capacity utilization factor, based on ensuring standard vehicle's cabin limits throughout routes during the entire period of movement.

Sami Alhousseini – analyzing the problem; reviewing literary sources; participation and analysis of input data for calculations.

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*\*М.И. Шаров, А.Ю. Михайлов*

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия  
\*sharov.maksim@gmail.com*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В статье рассмотрены результаты исследования надежности функционирования маршрутов городского общественного пассажирского транспорта. Одной из основных целей являлось рассмотрение показателей оценки надежности функционирования системы городского пассажирского транспорта (ГПТ), которые еще не применялись в российской практике. Особенность этих показателей заключается в том, что исходная информация может получаться на основе современного оборудования подвижного состава (ГЛОНАСС/GPS). Возможность применения этих показателей, а также разработка шкал уровней надежности на данный момент является важной научной проблемой.

**Материалы и методы.** Предложены современные показатели оценки надежности работы маршрутов городского пассажирского транспорта, такие как временной индекс и сопряженный с ним показатель – буферное время. Для обработки полученных данных о продолжительности движения подвижного состава использовались методы математической статистики.

**Результаты.** Получены характеристики надежности работы городских пассажирских маршрутов, а также проведено сравнение значений надежности на примере г. Иркутска и г. Ангарска.

**Обсуждение и заключение.** Впервые в российской практике выявлен диапазон значений временного и буферного индексов на основе данных маршрутных сетей двух отличающихся городов. Предложена шкала оценки уровней надежности маршрутов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** городской общественный пассажирский транспорт, надежность транспортной системы, временной индекс, буферный индекс, качество обслуживания, спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС/GPS.

© М.И. Шаров, А.Ю. Михайлов



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# ASSESSMENT OF RELIABILITY OF THE CITY PUBLIC TRANSPORT FUNCTIONING IN THE RUSSIAN FEDERATION CITIES

**M.I.Sharov\*, A.Yu. Mikhaylov**

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russia*

*\*sharov.maksim@gmail.com*

## ABSTRACT

**Introduction.** *The paper deals with the results of the reliability of urban public passenger transport routes. One of the main objectives is to consider the indicators for assessing the reliability of the urban passenger transport system, which have not yet been used in Russian practice. The peculiarity of these indicators is that the initial information can be obtained on the basis of modern bus equipment (GLONASS/GPS). The possibility of using these indicators, as well as the development of scales of reliability levels at the moment is an important scientific problem.*

**Materials and methods.** *The authors proposed modern indicators for assessing the reliability of urban passenger transport routes, such as the time index and the associated buffer time indicator. The authors used the methods of mathematical statistics to process the data on the duration of bus traffic.*

**Results.** *The authors obtained the reliability characteristics of urban passenger routes. Moreover, the paper presented the comparison of the reliability values on the example of Irkutsk and Angarsk.*

**Discussion and conclusions.** *The authors reveal the range of values of the time and buffer indices based on the data of route networks of two different cities. Therefore, the authors offer the estimation scale of the reliability levels on routes.*

**KEYWORDS:** *urban public transport, transport system reliability, time index, buffer index, service quality, GLONASS / GPS satellite navigation systems.*

© M.I.Sharov, A.Yu. Mikhaylov



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

### ВВЕДЕНИЕ

Рост автомобилизации населения и интенсивности движения в городах России создал острые градостроительные, социально-экономические и экологические проблемы. Принятая концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию предполагает устойчивое развитие городов и агломераций страны. Вытекающее из этого требование формирования устойчивых городских транспортных систем связывают в первую очередь с приоритетным развитием общественного пассажирского транспорта. Так в рейтинг комфортности городов России был включен количественный транспортный показатель – годовое количество поездок одного человека на общественном транспорте.

В новых условиях к общественному транспорту предъявляются все более возрастающие требования. Прежде всего, он должен быть привлекательным и надежным для пользователя, что требует создания соответствующих критериев<sup>1,2</sup> [1, 2, 3].

Повышение качества обслуживания населения городским пассажирским транспортом является важнейшей задачей развития современных городов и агломераций. Решения, принимаемые в данной сфере, направлены на повышение надежности функционирования транспортной системы города и безопасности дорожного движения, а также на обеспечение высоких экологических стандартов городской среды. Так, одним из последних документов, регламентирующих качество работы городской транспортной инфраструктуры, является распоряжение Министерства транспорта РФ «Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом» от 31.01.2017». В нем заложены контрольные показатели качества и надежности функционирования пассажирского транспорта и его инфраструктуры.

В данной статье рассмотрены показатели оценки надежности функционирования системы городского пассажирского транспорта (ГПТ), которые еще не применялись в россий-

ской практике. Особенность этих показателей заключается в том, что исходная информация может получаться на основе современного оборудования подвижного состава (ГЛОНАСС/GPS).

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценка надежности функционирования общественного транспорта имеет давнюю историю. Еще в 1987 г. Министерство автомобильного транспорта РСФСР издало приказ «О введении временной инструкции и рекомендаций по обеспечению выполнения рейсов на автобусных маршрутах». В соответствии с ним регулярность автобусных маршрутов оценивалась следующим образом (таблица 1).

В современной российской практике качество функционирования (т.е. качество сервиса) общественного транспорта предложено оценивать интегральным показателем

$$S = \sum_{i=1}^{i=6} S_i^{k_i}, \quad (1)$$

где  $S_1$  – надежность перемещения точно по графику (время поездки);  $S_2$  – частота движения общественного транспорта;  $S_3$  – безопасность;  $S_4$  – комфортность (качество поездки);  $S_5$  – стоимостный показатель (величина транспортного тарифа);  $S_6$  – показатель информационного сервиса (уровень информационного обеспечения);  $k_1, \dots, k_6$  – показатели степени – весовые коэффициенты, характеризующие значимость соответствующего показателя уровня сервиса.

Часть показателей, входящих в формулу (1), измеряются количественно, а часть являются качественными и имеют оценку в баллах. Соответственно при расчете интегрального критерия оценки качества общественного пассажирского транспорта  $S$  предложено оценивать надежность показателем регулярности движения транспортных средств  $R$ :

$$R = \frac{N_{sh}}{N_r} k_r = \left( \frac{N_{sh}}{N_r} \right) \left( \frac{N_r}{N_p} \right) = \frac{N_{sh}}{N_p}, \quad (2)$$

где  $N_{sh}$  – количество рейсов, соблюдавших расписание;  $N_r$  – количество фактически выполненных рейсов;  $k_r$  – коэффициент выполнения плановых рейсов;  $N_p$  – количество запланированных рейсов.

<sup>1</sup> König, A. and Axhausen, Kay W. (2002). The reliability of the transportation system and its influence on the choice behaviour. Presentation at STRC 2002. In Proceedings of the 2nd Swiss Transport Research Conference, March 20–22, 2002. Zurich : ETHZ, Institute of Transportation, Traffic, Highway – and Railway-Engineering.

<sup>2</sup> Litman T. Evaluating Public Transit Benefits and Costs. Best Practices Guidebook <http://www.vtpi.org/tranben.pdf>.

Таблица 1  
Предельно допустимые отклонения от расписания

Table 1  
Maximum permissible deviations from the schedule

Вид маршрута	Допустимое опережение расписания, мин	Допустимое опоздание, мин
Городской	2	2
Пригородный	2–5	5
Межгородской	Более 5	20

Развитие геоинформационных технологий и бортового оборудования транспортных средств предоставило новые возможности оценки надежности общественного пассажирского транспорта как на основе архивов треков, так и в режиме реального времени. При этом треки подвижного состава являются непрерывно генерирующимися данными, поэтому обработка таких данных представляет большой интерес в терминах теории и практики.

В современной практике оценки надежности функционирования транспортных систем применяются следующие показатели, основанные на затратах времени на передвижение<sup>3, 4, 5</sup> [4]:

Временной индекс (Travel Time Index TTI)

$$TTI = \frac{T_{85\%(90\%)}}{T_{FF}}, \quad (3)$$

Буферное время (Buffer Time BT)

$$BT = T_{95\%} - \bar{T}, \quad (4)$$

Буферный индекс (Buffer index BI)

$$BI = \frac{T_{95\%} - \bar{T}}{\bar{T}} 100\%, \quad (5)$$

Планируемый временной индекс (Planning Time Index PTI)

$$PTI = \frac{T_{95\%}}{T_{FF}}, \quad (6)$$

где  $T_{90\%(95\%)}$  – 90% или 95% процентиль продолжительности передвижения, мин;  $T_{FF}$  – время передвижения в свободных условиях (5%, 10% или 15% процентиль продолжительности передвижения), мин;  $\bar{T}$  – среднее время передвижения, мин.

Различие между TTI и BI заключается в том, что второй показатель рассматривается с позиции пользователя услуг (т.е. пассажира). Планируемый временной индекс учитывает суммарно средние затраты на передвижение и буферное время, тем самым оценивает затраты на передвижения с гарантией достижения цели и передвижения с 5%-й вероятностью опоздания.

В настоящее время Транспортная лаборатория ИРНТУ занимается исследованиями в области оценки надежности функционирования как улично-дорожных сетей, так и сетей общественного пассажирского транспорта<sup>6</sup> [5, 6, 7, 8, 9]. С точки зрения формирования устойчивой (т.е. надежной и привлекательной) системы общественного пассажирского транспорта Буферное время (Buffer Time) является важным показателем, поскольку это дополнительные затраты времени, которые должен планировать пользователь, выбирая вид во время передвижения с учетом надежности общественного транспорта. Соответственно, Буферный индекс (Buffer index), включающий буферное время, также позволяет оценить надежность транспортной системы с учетом пользователя.

<sup>3</sup> Defining and Measuring Urban Congestion <https://www.tac-atc.ca/sites/default/files/site/doc/Bookstore/definingmeasuring-congestion.pdf>

<sup>4</sup> <https://www.bts.gov/content/travel-time-index>

<sup>5</sup> Travel Time Reliability: Making It There On Time, All the Time. [www.ops.fhwa.dot.gov/publications/tt\\_reliability/TTR\\_Report.htm](http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/TTR_Report.htm)

<sup>6</sup> Румянцев Е.А. Михайлов А.Ю. Об эффективности критериев для оценки условий движения транспортных потоков // Сб. докл. девятой междунар. конф. Организация безопасности дорожного движения. Санкт-Петербург, сент. 2010. С. 121–123.

## РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

Причина того, что мы рассматриваем отдельно улично-дорожную сеть и маршрутную сеть заключается в особенности расчета взвешенных показателей  $TTI_{net}$ ,  $BI_{net}$  для сети. В случае рассмотрения улично-дорожной сети учитываются транспортные потоки, а в случае маршрутной сети – пассажиропотоки:

$$TTI_{net} = \frac{\sum_{i=1}^n TTI_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (7)$$

$$BI_{net} = \frac{\sum_{i=1}^n BI_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (8)$$

где  $TTI_i$ ,  $BI_i$  – значение временного или буферного индекса на сегменте улично-дорожной или маршрутной сети  $i$ ;  $V_i$  – значение транспортного потока или пассажиропотока сегмента  $i$ .

В Российской Федерации до настоящего времени не накапливалась и не систематизировалась статистика показателей  $TTI$ ,  $BI$  и  $PTI$ . Поэтому в выполняемых исследованиях сформулированы следующие задачи:

- Определить, в каком диапазоне варьируют значения  $TTI$ ,  $BI$  маршрутов городского общественного пассажирского транспорта.
- Предложить шкалу оценки надежности маршрутов общественного транспорта.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследовались маршруты общественного пассажирского транспорта в городах Иркутске и Ангарске, принципиально отличающихся

своими транспортными системами. Иркутск относится к историческим городам Российской Федерации, улично-дорожная сеть которого не соответствует требованиям градостроительных норм. Для города характерен высокий уровень транспортных заторов. В отличие от Иркутска Ангарск основан в начале 1950 годов и относится к новым городам. Город имеет регулярную решетку улиц и в нем не наблюдаются сильных транспортных проблем.

Для реализации задач, поставленных в данной статье, использовались данные навигационного оборудования, установленного в городских автобусах. Наличие такого навигационного оборудования позволяет не только оперативно контролировать и управлять работу подвижного состава на линиях, но и на основе различных показателей анализировать и прогнозировать качество предоставляемых услуг пользователям транспортной сети (т.е. пассажирам общественного транспорта, водителям индивидуальных транспортных средств и др.). Необходимость обязательного наличия подобного навигационного оборудования в городских автобусах обусловлена наличием федеральных приказов и закона №22-ФЗ от 14.02.2009 г. «О навигационной деятельности». Это решение стало возможным в том числе благодаря созданию Российской навигационной системы ГЛОНАСС, а также широкому распространению оборудования, принимающего сигналы спутников и преобразовывающее их в координатно-временные параметры.

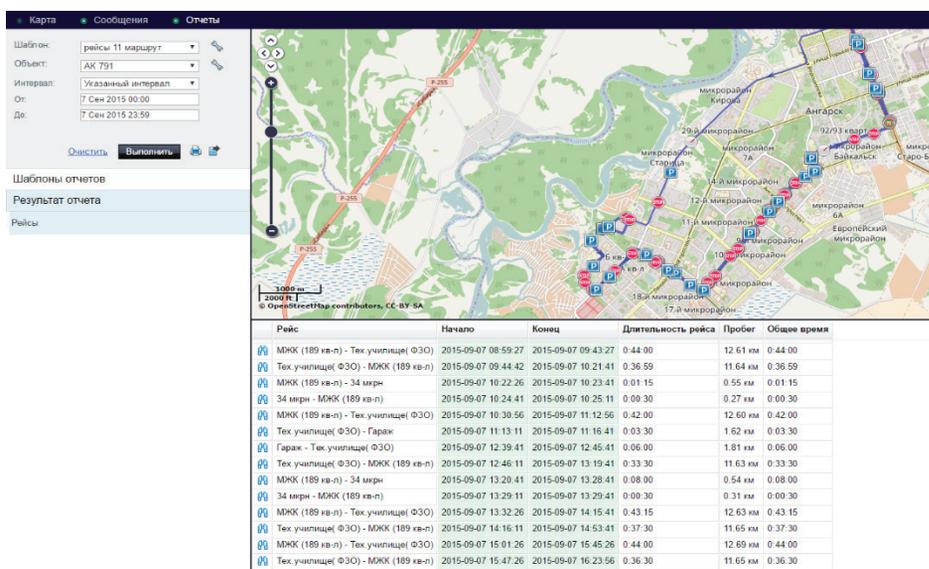


Рисунок 1 – Пример отображения данных в программе Wialon Pro

Figure 1 – Example of data display in Wialon Pro

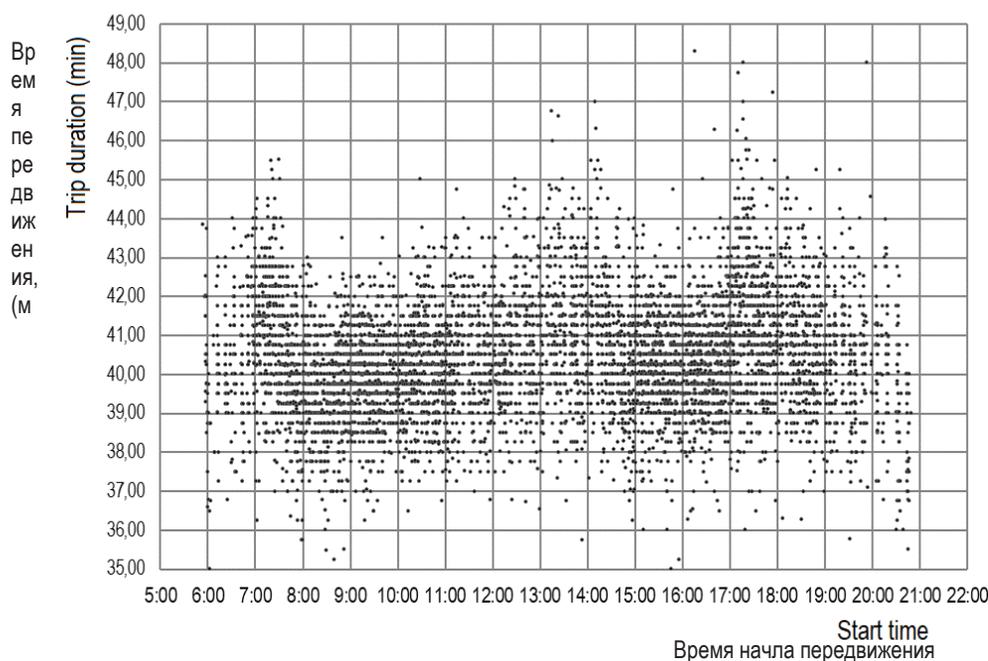


Рисунок 2 – Время передвижения на маршруте № 11 в г. Ангарске (02.03.2017–08.03.2017)

Figure 2 – Trip duration (min) of №11 route in Angarsk (02.03.2017–08.03.2017)

Таблица 2  
Пример статистика времени передвижения и надежности на маршруте № 27 в г. Ангарске

Table 2  
Statistics of trip duration and reliability of №27 route in Angarsk

Статистики продолжительности движения и значения показателей	Дата получения данных			
	3. 11.17	4.11.17	5.11.17	6.11.17
Количество треков	62	65	57	67
Средняя продолжительность, мин	79,02	76,37	78,60	78,47
Минимальная продолжительность, мин	74,75	70,28	70,75	67,00
Максимальная продолжительность, мин	87,15	82,25	91,50	87,43
перцентиль продолжительности 5%	75,25	71,88	71,98	73,75
перцентиль продолжительности 15%	76,00	73,50	76,22	76,00
перцентиль продолжительности 85%	81,87	79,17	81,40	80,75
перцентиль продолжительности 95%	84,78	80,22	86,58	82,00
Стандартное отклонение	3,02	2,53	3,82	2,78
Буферное время, мин	5,76	3,85	7,98	3,53
Буферный индекс	7,29%	5,03%	10,15%	4,50%
Временной индекс	1,15	1,09	1,17	1,11

Исследование выполнялось несколько месяцев в разные периоды года. Для получения использовалось бортовое оборудование Omnicomm LLS. Были получены треки ГЛОНАСС/GPS, далее обработанные с применением программы Wialon Pro (рисунок 1).

На основе полученных данных (рисунок 2)

для каждого маршрута рассчитывались статистики, представленные в таблице 2 и рисунке 3.

Выбор маршрутов оказался правильным, поскольку маршрут имеет совершенно разные характеристики и показатели надежности.

Так, маршруты № 27 и № 11 в г. Ангарске

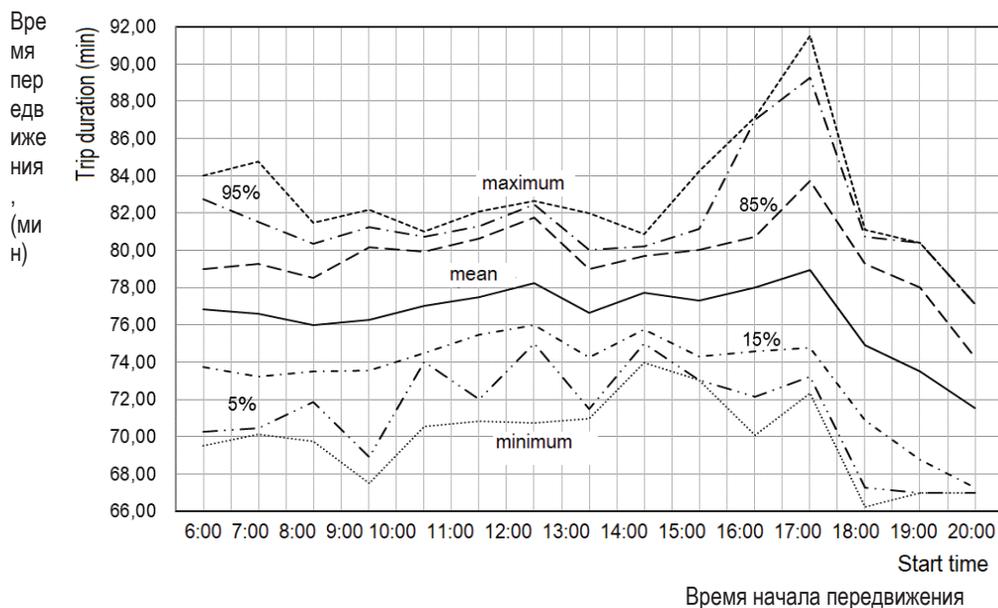


Рисунок 3 – Значения продолжительности движения на маршруте: минимум, максимум, среднее и значения 5%, 15%, 85% и 95% обеспеченности на маршруте № 27 в г. Ангарске (02.11.2017–11.11.017)

Figure 3 – Trip duration (minimum, maximum and mean values, 5%, 15%, 85% and 95% of trip duration) of №27 route in Angarsk (02.11.2017–11.11.017)

имеют 40 и 60 остановочных пунктов, а скорость сообщения составляют 17,8 и 17,85 км/ч. В пиковые периоды на рассматриваемых маршрутах не наблюдаются отклонения от расписания движения и выдерживаются рассчитанные для данных маршрутов скорости сообщения.

Исследованные маршруты № 18, 27, 37 и 67 в г. Иркутске имеют от 20 до 70 остановочных пунктов, скорость сообщения составляет соответственно 18,98; 16,08; 23,06 и 17,47 км/ч. Получены совершенно иные показатели, отличающиеся от данных маршрутов г. Ангарска. Маршруты показывают низкий уровень надежности и большие значения вариационного размаха продолжительности движения (таблица 3).

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволяют достаточно надежно утверждать, что в условиях Российской Федерации временной индекс сетей городского пассажирского транспорта может варьироваться в диапазоне значений 1,05–1,70. Соответственно диапазон значений буферного индекса может составлять 3–40%.

Существует два альтернативных подхода к формированию оценочной шкалы показателя:

- Разбиение вариационного размаха значений на равные интервалы.
- Использование квантилей распре-

ления значений оценочного критерия.

Нами был использован второй вариант построения шкалы, поскольку он обеспечивает чувствительность предлагаемой шкалы к вариации оценочного показателя, тем самым исключается вероятность попадания рассчитываемых значений оценочного показателя только в один из разрядов оценочной шкалы.

Сопоставляя результаты и публикуемую статистику других стран на этом предварительном этапе можно предлагать следующую шкалу оценки надежности маршрутов и сети общественного транспорта:

Сеть/маршрут высокой степени надежности –  $TTI < 1,10$ .

Надежная сеть/надежный маршрут –  $1,10 < TTI < 1,20$ .

Сеть/маршрут умеренной степени надежности –  $1,20 < TTI < 1,40$ .

Сеть/маршрут низкой степени надежности –  $TTI > 1,40$ .

Предложенная выше шкала будет уточнена по мере накопления репрезентативных статистических выборок, в том числе данных о взвешенных значениях, рассчитываемых для сети. Представляется, что наиболее объективную шкалу можно будет построить на основе квантилей распределения статистически репрезентативной выборки значений  $TTI$ , что является целью наших продолжающихся исследований.

Таблица 3  
Характеристики маршрутов г. Иркутска

Table 3  
Routes' characteristics in Irkutsk

Маршрут	Максимальное опоздание, мин	Максимальное опережение расписания, мин	Вариационный размах продолжительности движения, мин
№ 18	10	15	30
№ 27	10	10	18
№ 37	20	12	30
№ 67	15	12	40

Итоговые результаты исследования всех рассмотренных маршрутов представлены в таблице 4.

Таблица 4  
Результаты исследования надежности маршрутов городского пассажирского транспорта

Table 4  
Results of the urban passenger transport routes' reliability

Город Маршрут №	Значение временного индекса ТТІ		Значение буферного индекса ВІ	
	Прямое направление	Обратное направление	Прямое направление	Обратное направление
г. Ангарск № 11	1,07	1,10	4,02%	6,30%
г. Ангарск № 27	Ноябрь – 1,11		6,65%	
	Январь – 1,08		4,58%	
	Март-Апрель – 1,05		2,97%	
	Июль 1,06		4,47%	
г. Иркутск № 18	1,52	1,35	17,66%	13,97%
г. Иркутск № 27	2,05	1,28	39,19%	16,08%
г. Иркутск № 37	1,64	1,34	37,90%	19,90%
г. Иркутск № 67	1,56	1,64	26,27%	39,87%

Полученные результаты позволяют утверждать, что использование данных спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS позволяет оперативно и точно оценивать качество и надежность работы пассажирского транспорта<sup>7, 8</sup> [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bates J., Polak J., Jones P., Cook A. 2001. The valuation of reliability for personal travel. *Transportation Research Part E: Logistics*

and Transportation Review, 37 (2–3), 191–229.

2. Lyman, K., Bertini. R. L. Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation Planning and Operations. *Transportation Research Record*, No. 2046, 2008, pp. 1–10.

3. Polus, A. (1978). Modeling and Measurements of Bus Service Reliability. *Transportation Research*, 12(4), 253–256.

4. TAYLOR, M. A. P., 2013. Travel through time: the story of research on travel time reliability.

<sup>7</sup> Кравченко А.Е., Кравченко Е.А., Алимова А.И. Сетевое планирование и управление перевозочными услугами для населения муниципальных образований на основе моделей предпочтения и полезности автобусных маршрутов // *Механика, оборудование, материалы и технологии. Сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»*. 2018. С. 501–511.

<sup>8</sup> Шушкин М.А. Анализ факторов выбора потребителями городского пассажирского автобусного перевозчика // *Социально-экономические преобразования и проблемы: сборник научных трудов*. Нижний Новгород, 2018. С. 177–185.

Transportmetrica B, Transport Dynamics 1(3), 174-194.

5. Sharov M., Mikhailov A., Urban transport system reliability indicators. Transportation Research Procedia 2017. P. 591-595. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.095

6. Шаров М.И., Полежаев Н.Н. Оценка надежности функционирования маршрута городского пассажирского транспорта на основе применения геоинформационных технологий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 5 (124). С. 191–198.

7. Михайлов А.Ю., Шаров М.И. К вопросу развития современной системы критериев оценки качества функционирования общественного пассажирского транспорта // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2014. Т. 9. № 19 (146). С. 64–66. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-5-191-198.

8. Levashev A., Application of geoinformation technologies for the transportation demand estimation. Transportation Research Procedia 2017. P. 406-411. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.066

9. Левашев А.Г. Принципы выделения специальных расчетных транспортных районов в городском транспортном планировании // Градостроительство и архитектура. 2016. № 3 (24). С. 126–128. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.20.

10. Петров В.В., Кашталинский А.С. Управление транспортными потоками с учетом их стохастичности // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. №2 (24). С. 27–29.

11. Kashtalinsky A., Petrov V., Ryabokon Y., Method considering traffic stream variability over time when determining multiprogram control modes at signaled intersections. Transportation Research Procedia 2017. p. 277-282 DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.022.

12. Morchadze T., Rusadze N., Ways to address the challenges in passenger traffic within the urban transport systems, 2018 Transport Problems 13(3), P. 65-77 DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.118

13. Manukhina L., Analysis of modern approaches to the organization of parking areas in major cities. 2018MATEC Web of Conferences 193,01037 DOI: 10.1051/mateconf/201819301037.

14. Sakulyeva T., Megapolis public transport system. 2018 International Journal of Civil

Engineering and Technology 9(10), p. 647–658.

15. Яценко С.А., Колганов С.В. Маркетинговые исследования спроса на рынке пассажирских транспортных услуг в г. Иркутске // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 5 (64). С. 122–128.

16. Копылова Т.А. Теоретическое обоснование шкалы уровней обслуживания интермодальных узлов городского общественного пассажирского транспорта // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 9 (705). С. 91–100.

17. Zhankaziev S., Current trends of road-traffic infrastructure development. Transportation Research Procedia 2017. p. 731–739. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.118.

### REFERENCES

1. Bates J., Polak J., Jones P., Cook A. 2001. The valuation of reliability for personal travel. Transportation Research Part E: Logistics Transportation Review, and 37 (2–3): 191–229.

2. Lyman K., Bertini R. L. Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation Planning and Operations. Transportation Research Record, No. 2046, 2008: 1–10.

3. Polus, A. (1978). Modeling and Measurements of Bus Service Reliability. Transportation Research, 12(4): 253–256.

4. TAYLOR, M. A. P., 2013. Travel through time: the story of research on travel time reliability. Transportmetrica B, Transport Dynamics 1(3): 174–194.

5. Sharov M., Mikhailov A., Urban transport system reliability indicators. Transportation Research Procedia. 2017: 591–595. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.095

6. Sharov M.I., Polezhaev N.N., Ocenka nadezhnosti funkcionirovaniya marshruta gorodskogo passazhirskego transporta na osnove primeneniya geoinformacionnykh tekhnologij [Evaluation of the route reliability of urban passenger transport based on the use of geographic information technologies]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017; T. 21. No. 5 (124): 191–198 (in Russian).

7. Mihajlov A.YU., Sharov M.I., K voprosu razvitiya sovremennoj sistemy kriteriev ocenki kachestva funkcionirovaniya obshchestvennogo passazhirskego transporta [On the development of a modern system of criteria for assessing the quality of public passenger transport]. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2014; T. 9. No. 19 (146): 64–66. DOI:

10.21285/1814-3520-2017-5-191-198 (in Russian).

8. Levashev A., Application of geoinformation technologies for the transportation demand estimation. *Transportation Research Procedia*. 2017: 406–411. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.066

9. Levashev A.G., Principy vydeleniya special'nyh raschetnyh transportnyh rajonov v gorodskom transportnom planirovanii [Principles for the allocation of special estimated transport areas in urban transport planning] *Gradostroitel'stvo i arhitektura*. 2016; 3 (24): 126–128. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.20 (in Russian).

10. Petrov V.V., Kashtalinskij A.S., Upravlenie transportnymi potokami s uchetom ih stohastichnosti [Control of the traffic with the statistical methods]. *Vestnik SibADI*. 2012; 2 (24): 27–29 (in Russian).

11. Kashtalinsky A., Petrov V., Ryabokon Y., Method considering traffic stream variability over time when determining multiprogram control modes at signaled intersections. *Transportation Research Procedia*. 2017: 277–282. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.022.

12. Morchadze T., Rusadze N., Ways to address the challenges in passenger traffic within the urban transport systems, 2018 *Transport Problems* 13(3): 65–77. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.118.

13. Manukhina L., Analysis of modern approaches to the organization of parking areas in major cities. 2018 *MATEC Web of Conferences* 193, 01037 DOI: 10.1051/mateconf/201819301037.

14. Sakulyeva T., Megapolis public transport system. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018; 9(10): 647–658.

15. Yacenko S.A., Kolganov S.V., Marketingovyye issledovaniya sprosа na rynke passazhirskih transportnyh uslug v g. Irkutske [Market research of demand of passenger transport services in Irkutsk]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2012; 5 (64): 122–128 (in Russian).

16. Kopylova T.A., Teoreticheskoe obosnovanie shkaly urovnej obsluzhivaniya intermodal'nyh uzlov gorodskogo obshchestvennogo passazhirskogo transporta [Theoretical substantiation of the scale of service levels of intermodal nodes of urban public transport]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2017; 9 (705): 91–100 (in Russian).

17. Zhankaziev S., Current trends of road-traffic infrastructure development. *Transportation Research Procedia* 2017: 731–739. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.118.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шаров Максим Игоревич – канд. техн. наук, доц., ORCID: 0000-0002-9670-0751 Scopus Author ID: 56105267500, Researcher ID: H-5652-2012, доц. кафедры автомобильного транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83, e-mail: sharov.maksim@gmail.com.*

*Михайлов Александр Юрьевич – д-р техн. наук, проф., ORCID: 0000-0003-1946-0659, Scopus Author ID: 57193751842, проф. кафедры автомобильного транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83, e-mail: mikhaylovay@gmail.com.*

**Поступила 26.04.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Maksim I. Sharov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Automobile Transport Department, Irkutsk National Research Technical University, Scopus Author ID: 56105267500, Researcher ID: H-5652-2012 (Irkutsk, 83 Lermontova St., e-mail: sharov.maksim@gmail.com).*

*Aleksandr Yu. Mikhaylov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Automobile Transport Department, Irkutsk National Research Technical University, Scopus Author ID: 57193751842 (Irkutsk, 83 Lermontova St., e-mail: mikhaylovay@gmail.com).*

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Шаров М.И. – Сбор данных для проведения эксперимента, а также непосредственно проведение эксперимента.*

*Михайлов А.Ю. – проработка теоретических вопросов.*

## AUTHORS' CONTRIBUTION

*Maksim I. Sharov – collection of the experiment data; the experiment conduction.*

*Aleksandr Yu. Mikhaylov – theoretical issues' research.*

# ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ДЕТЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ (АВТОБУСАМИ) В МЕЖДУГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ С УЧЕТОМ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

О.Е. Янучкова\*, М.Р. Янучков, Н.В. Якунина  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,  
г. Оренбург, Россия  
\*yanuchkova.olya@yandex.ru

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Статья посвящена проблеме пассажирских перевозок детей автомобильным транспортом в междугородном сообщении. В настоящее время нахождение детей в пути при организованной перевозке автобусами составляет не более 4 часов согласно законодательству РФ. Между тем процесс перевозки детей рассматривается без учета возрастных групп, к которым они относятся, и регламентируется режимом труда и отдыха водителей.

Целью статьи является актуализация вопроса организованных перевозок детей автомобильным транспортом (автобусами) в междугородном сообщении и предложение метода организации этого процесса с учётом возраста детей.

**Материалы и методы.** При написании данной статьи использовались методы статистического и системного анализа, методы экспертных оценок, натурные обследования, теория пассажирских перевозок автомобильным транспортом, а также другие методы и приемы научного исследования.

**Результаты.** Предлагается использовать полученные закономерности пройденного расстояния от возраста испытуемых и времени нахождения в пути при корректировке условий труда и отдыха водителей, а также при организации туристических маршрутов.

**Обсуждение и заключение.** Результаты исследования могут быть использованы при организации детско-юношеского туризма, в процессе организованных пассажирских перевозок детей автомобильным транспортом в междугородном сообщении.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** пассажирские перевозки детей, междугородное сообщение, автомобильный транспорт, режим труда и отдыха водителей.

© О.Е. Янучкова, М.Р. Янучков, Н.В. Якунина



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# CHILDREN TRANSPORTATION BY BUSES IN INTERCITY TRANSFERS TAKING INTO ACCOUNT AGE FEATURES

O. E. Yanuchkova\*, M, R. Yanuchkov, N. V. Yakunina  
Orenburg State University,  
Orenburg, Russia  
yanuchkova.olya@yandex.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The paper is devoted to the problem of organized children transfers by road transport (buses) in intercity connection. Nowadays, according to the legislation of the Russian Federation, children are on the way during the organized transfer no more than 4 hours. Meanwhile, the process of the children transfer is considered without taking into account age groups and this process is regulated by rest time of drivers.

**The objective of the paper is the actualization of the organized children transportation by buses in intercity connection and of the organization method taking into account age features.**

**Materials and methods.** The authors used the method of statistical and systematic analysis, the method of expert estimates, technical expertise, the theory of the passenger transport by road transport and also other techniques and methods of scientific research.

**Results.** As a result, the authors suggested taking into account the regularities of distance and time of the transfer by the age of children and in adjusting of driving conditions and rest time of drivers and also in organization of tourist routes.

**Discussion and conclusions.** The authors recommend to use the results of the research for children and youth tourism organization and for the organized carriage of children groups by road transport (buses) in intercity transfers.

**KEYWORDS:** children transportation, intercity transfer, road transport, driving and rest time of drivers.

© O. E. Yanuchkova, M, R. Yanuchkov, N. V. Yakunina



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

### ВВЕДЕНИЕ

Процесс пассажирских перевозок детей автомобильным транспортом в междугородном сообщении, в частности автобусами, является сложным и ответственным мероприятием.

Общеизвестно, что одним из основных недостатков автомобильного транспорта является высокая аварийность<sup>1, 2, 3</sup>, во много раз превышающая аварийность на других видах транспорта. Наряду с взрослым населением жертвами дорожно-транспортных происшествий являются дети. В соответствии с официальными данными ГИБДД Российской Федерации за 2017 год детский дорожно-транспортный травматизм вырос на 1,6%. Около 8,8 тыс. аварий было совершено с участием детей-пассажигов; 8,6 тыс. с участием детей-пешеходов.

В Оренбургской области за 2017 год произошло 349 ДТП с участием детей, ранено 369 детей, 17 детей погибло.

Участились случаи аварий с участием автобусов, выполняющих перевозку организованных групп детей. Наиболее крупные аварии произошли в республике Башкирстан, Омске, Московской области, Ханты-Мансийском автономном округе.

Основными документами, регламентирующими правовые основы процесса перевозок детей, являются:

- Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения»;

- Постановление Правительства РФ от 17.12.2013 № 1177 «Об утверждении Правил организованной перевозки группы детей автобусами».

В правилах организованной перевозки группы детей автобусами данный аспект рас-

смотрен достаточно узко в п. 9. Включение детей возрастом до 7 лет в группу детей для организованной перевозки автобусами при их нахождении в пути следования согласно графику движения более 4 часов не допускается. Кроме того, правила организованной перевозки группы детей автобусами определяют график движения транспортного средства требованиями к режиму труда и отдыха водителей.

Между тем процесс перевозки детей рассматривается без учета возрастных групп, к которым они относятся, а, как известно, дети младшего возраста более подвижны, быстрее утомляются, больше требуют внимания в виду своих возрастных особенностей.

Существующие нормативы регламентируют технологические параметры транспортного процесса при перевозке организованных групп детей, обеспечивающие безопасные условия его реализации.

Наряду с нормативными документами вопросы организации перевозок пассажиров и обеспечения безопасности движения рассмотрены в ряде научных трудов. Исследованию данных вопросов посвящены труды А.В. Вельможина, Е.П. Володина, П.П. Володькина, А.Э. Горева, В.А. Гудкова, В.В. Зырянова, В.А. Корчагина, Л.Б. Миротина, И.В. Спирина, С.А. Ширяева, Н.В. Якуниной, Н.Н. Якунина и др.<sup>4, 5</sup> [1, 2, 3].

В работах В.А. Молодцова, А.А. Раюшкиной, Н.М. Сиволобова, С.А. Ширяева, Н.С. Поготовкиной [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] представлен сравнительный анализ отечественной и зарубежной систем государственного регулирования перевозок детей, рассмотрены проблемы, существующие в этой сфере, разработаны методы построения рациональных маршрутов при перевозке детей.

Следует отметить, что в существующих

---

<sup>1</sup> Былинин И.А. Перевозка групп детей пассажирским транспортом: проблемы на маршруте движения школьного автобуса // Полиция и общество: пути сотрудничества (к 300-летию российской полиции) // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 49–53.

<sup>2</sup> Насидач Е.О., Поготовкина Н.С. Показатели детского дорожно-транспортного травматизма и аварийности с участием автобусов, перевозящих детей, в Российской Федерации // Организация и безопасность дорожного движения. Материалы X международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д. т. н., профессора Л. Г. Резника: в 2 томах. 2017. С. 186–187.

<sup>3</sup> Янчук О.Е., Якунина Н.В. Повышение безопасности процесса перевозок организованных групп детей автобусами с учетом возрастных особенностей // Наука сегодня : факты, тенденции, прогнозы: материалы международной научно-практической конференции. Вологда : ООО «Маркер», 2017. С. 57–59.

<sup>4</sup> Володькин П.П. Организация перевозок школьников в Российской Федерации // Материалы секционных заседаний 54-й студенческой научно-технической конференции ТОГУ. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2014. С. 92–96.

<sup>5</sup> Гудков В.А., Миротин Л.Б., Вельможин А.В., Ширяев С.А., Гудков Д.В. Пассажирские автомобильные перевозки: учебное пособие. Допущено УМО по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов. Москва, 2015.

Таблица 1  
Классификация возрастных групп детей

Table 1  
Classification of children age groups

Классификация возрастных групп		
Возрастная психология	Физиология	СанПиН
Период от рождения до окончания школы Д.Б. Эльконин разделил на семь этапов: 1. Младенчество: от рождения до 1 года жизни. 2. Раннее детство: от 1 года жизни до 3 лет. 3. Младший и средний дошкольный возраст: от 3 до 4 – 5 лет. 4. Старший дошкольный возраст: от 4 – 5 до 6 – 7 лет. 5. Младший школьный возраст: от 6 – 7 до 10 – 11 лет. 6. Подростковый возраст: от 10 – 11 до 14 – 15 лет. 7. Ранний юношеский возраст: от 14 – 15 до 16 – 17 лет	Сухарев А.Г. Критерий – возрастная норма суммарных локомоций в сутки: 1. 3–4 года 2. 5–7 лет 3. 8–10 лет 4. 11–13 лет 5. 14–15 лет 6. 16–18 лет	Критерий – непрерывная образовательная деятельность: 1. Дошкольники до 6–7 лет: - 3–4 года; - 4–5 лет; - 5–6 лет; - 6–7 лет. 2. Младшие школьники: от 6–7 лет до 10 лет. 3. Средние школьники: от 10 лет до 15 лет. 4. Старшие школьники: от 15 до 17 лет. 5. Студенты: от 17 лет

нормативах и научных трудах процесс перевозки детей рассматривается, как правило, без учета возрастной группы перевозимых детей.

Цель исследования: совершенствование процесса организованной перевозки детей автомобильным транспортом (автобусами) в междугородном сообщении с учётом возрастных особенностей.

Задачи исследования:

1. Анализ состояния организованных перевозок детей автомобильным транспортом в междугородном сообщении.

2. Определение факторов и условий, влияющих на перевозочный процесс при организованной перевозке групп детей в междугородном сообщении.

3. Разработка методики определения режимов движения автобусов при организованной перевозке групп детей в автомобильном транспорте в междугородном сообщении.

4. Разработка рекомендаций в области организованной перевозки групп детей автомобильным транспортом в междугородном сообщении.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу проведённого исследования положена гипотеза о том, что процесс организации перевозки детей различных возрастных групп

имеет существенные отличия. Разработка дифференцированных нормативов, позволяющих учесть возрастные особенности различных групп детей, является актуальной научной и практической задачей, требующей рассмотрения и решения. Разберем несколько возрастных классификаций, которые отличаются между собой как по области исследования, так и по основному критерию. Результаты классификации возрастных групп представлены в таблице 1.

При определении размера выборки ориентируемся на классификацию возрастных групп детей по санитарным правилам и нормам (СанПиН), критерием которой является образовательная деятельность и допустимое время ограничения двигательной активности.

Наиболее востребована организованная перевозка групп детей в школьном возрасте, следовательно, выборка исследуемых будет состоять из следующих возрастных групп: младшие школьники, средние школьники, старшие школьники.

Основываясь на том факте, что при перевозке детей график движения транспортного средства должен отвечать требованиям к режиму труда и отдыха водителей, рассмотрим его подробнее, рисунок 1.

Время в пути 4 ч	Остановка для отдыха 15 мин	Время в пути 2 ч	Остановка для отдыха 30–60 мин (обед)	Время в пути 2 ч	Остановка для отдыха 15 мин	Время в пути 2 ч
---------------------	--------------------------------	---------------------	--	---------------------	--------------------------------	---------------------

Рисунок 1 – Схема распределения интервалов движения и отдыха групп детей при организованной перевозке

Figure 1 – Allocation scheme of the driving and rest intervals during the organized transfer of children groups

Время в пути $t_{дв1}$	Остановка для отдыха $t_{отд1}$	Время в пути $t_{дв2}$	Остановка для отдыха $t_{отд2}$	Время в пути $t_{дв3}$	Остановка для отдыха $t_{отд3}$	Время в пути $t_{двi}$	Остановка для отдыха $t_{отдi}$
---------------------------	------------------------------------	---------------------------	------------------------------------	---------------------------	------------------------------------	---------------------------	------------------------------------

Рисунок 2 – Схема распределения интервалов движения и отдыха детей

Figure 2 – Allocation scheme of the children driving and rest intervals

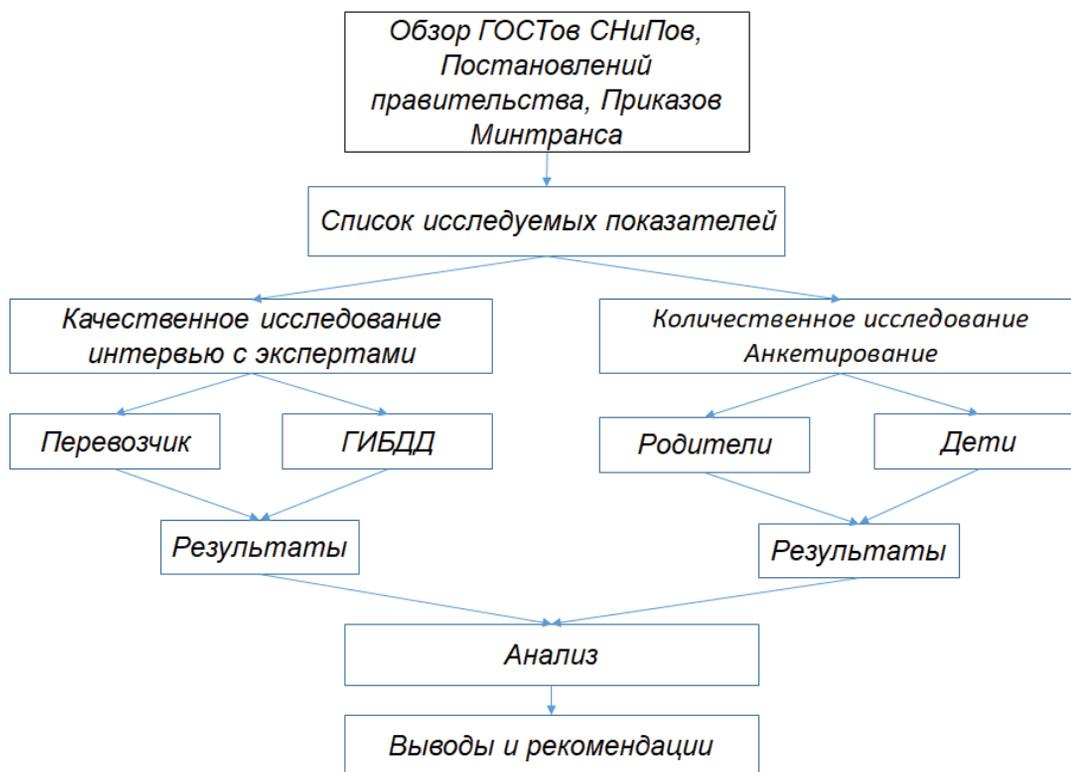


Рисунок 3 – Схема исследования процесса организованных перевозок групп детей автобусами в междугородном сообщении

Figure 3 – Scheme of the children organized transportation by buses in intercity transfer

Кроме того, график движения транспортного средства должен отвечать рекомендациям организованной перевозки групп детей с учетом их возрастной группы (рисунок 2).

Как видно из рисунка 1, в дальнейшей можно определить максимально возможное время и максимальное расстояние, на которое возможно перемещать детей при перевозке автобусами. Также из представленных материалов следует, что для каждой возрастной группы существует свое допустимое время движения  $\Sigma t_{дв i}$  и время отдыха  $\Sigma t_{отд i}$ .

Для исследования процесса организованных перевозок групп детей автобусами в междугородном сообщении, разработана схема, представленная на рисунке 3<sup>6</sup>.

Проведен обзор регламентирующих документов – ГОСТов, СНИПов, Постановлений правительства и т.д.; определены исследуемые показатели, характеризующие состояние и развитие процессов, возникающих при перевозке детей – время нахождения в пути, количество остановок, длительность остановок, интервальность движения и т.д.; определен

<sup>6</sup> Янучкова О.Е., Якунина Н.В. Методика исследования процесса пассажирских перевозок детей автомобильным транспортом (автобусами) в междугородном сообщении с учетом возрастных особенностей // Прогрессивные технологии в транспортных системах. XIII международная научно-практическая конференция. Оренбург, 2017. С. 315–317.

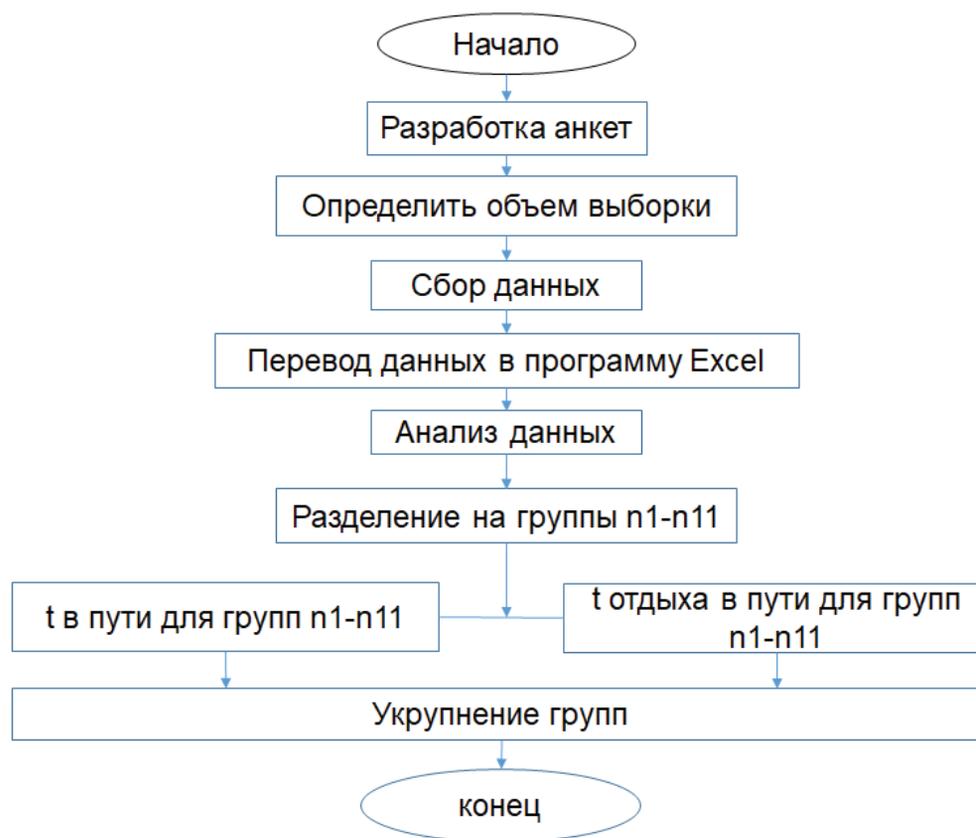


Рисунок 4 – Алгоритм проведения анкетирования

Figure 4 – Questionnaire algorithm

вид исследования (анкетирование), выбраны группы респондентов, количество и т.д.; проведена обработка результатов и выявлены закономерности пройденного расстояния до остановки в процессе перевозки детей с учетом возрастных особенностей; предложены рекомендации по определению режимов движения автобусов при организованной перевозке групп детей в автомобильном транспорте при междугородном сообщении.

Разработан алгоритм проведения анкетирования, рисунок 4.

При анкетировании разработаны вопросы, отвечающие запросам пассажиров и водителя, с учетом возрастных особенностей детей: возраст детей, вид транспорта, на котором проходила поездка, пройденное расстояние, время нахождения в пути, количество остановок, длительность остановок по времени и др.

Согласно приведенного алгоритма определено количество респондентов для опроса, т.е. «генеральная совокупность».

Для расчета объема выборки при известном значении генеральной совокупности используется формула (1):

$$n = \frac{Z^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{(\Delta^2 \cdot N + Z^2 \cdot p \cdot q)}, \quad (1)$$

где  $n$  – объем выборки;

$Z$  – коэффициент доверия, определяется по таблице критических точек нормального распределения ( $Z = 1,96$  для уровня значимости 2,5%);

$N$  – генеральная совокупность (население г. Оренбурга, в возрасте от 14 лет),  $N=425590$  чел.;

$p$  и  $q$  – выборочные доли (в случае когда наступление двух событий равновероятно,  $p=q=0,5$ );

$\Delta$  – предельная ошибка репрезентативности (достоверности),  $\Delta = 0,05$ .

Для целей исследования объем выборки составил 384 чел.

## РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Анкетирование проводилось в школах г. Оренбурга. В анкетировании принимали участие родители, законные представители школьников в возрасте от 7 до 17 лет, со стороны перевозчиков – ООО «Лидия – Тур», результаты представлены в таблице 2.

При анализе данных установлена прямая зависимость между возрастом исследуемых

и количеством остановок в пути. Для установления данной зависимости определено общее расстояние поездки в каждой возрастной группе, общее количество остановок в каждой возрастной группе, получены значения среднего расстояния до остановки в каждой возрастной группе. Результаты представлены в таблице 3.

Опытные зависимости пройденного расстояния и времени в пути от возраста испытуемых представлены на рисунках 5, 6.

Таблица 2  
Результаты анкетирования при исследовании процесса организованных перевозок групп детей автобусами в междугородном сообщении

Table 2  
Questionnaire results of the children organized transportation by buses in intercity transfer

Возраст детей, лет	Транспорт, используемый при перевозках	Расстояние, км	Время в пути, час	Остановки в пути, количество раз	Время остановки, час
7	Автобус, Автомобиль	15–2531	0,25–50,63	0–15	0–19
8	Автобус, Автомобиль	15–2560	0,25–47,6	0–10	0–14,6
9	Автобус, Автомобиль	15–1650	0,25–22	0–7	0–4
10	Автобус, Автомобиль	26–2390	0,32–35	0–10	0–8
11	Автобус, Автомобиль	15–2870	0,2–37	0–12	0–7
12	Автобус, Автомобиль	15–1860	0,17–24	0–14	0–7,75
13	Автобус, Автомобиль	15–2900	0,12–60	0–14	0–25
14	Автобус, Автомобиль	16–2543	0,2–60	0–12	0–30
15	Автобус, Автомобиль	16–2510	0,16–48	0–10	0–16
16	Автобус, Автомобиль	30–1250	0,25–32	0–6	0–17
17	Автобус, Автомобиль	15–1600	0,17–48	0–8	0–31

Таблица 3  
Результаты обработки данных исследования процесса организованных перевозок групп детей автобусами в междугородном сообщении

Table 3  
Data analysis results of the children organized transportation by buses in intercity transfer

Возраст детей, лет	Суммарное расстояние поездок пассажиров с детьми в группе, км	Суммарное количество остановок в группе, шт.	Среднее расстояние до остановки, км	Время движения до остановки, час
7	20784	137	151,7	2,52
8	17036	108	157,7	2,62
9	11505	68	169,2	2,82
10	17595	97	181,4	3,02
11	29732	147	202,3	3,37
12	16489	81	203,6	3,39
13	23161	100	231,6	3,86
14	22513	90	250,1	4,16
15	19619	73	268,8	4,48
16	9044	32	282,6	4,71
17	15859	53	299,2	4,98

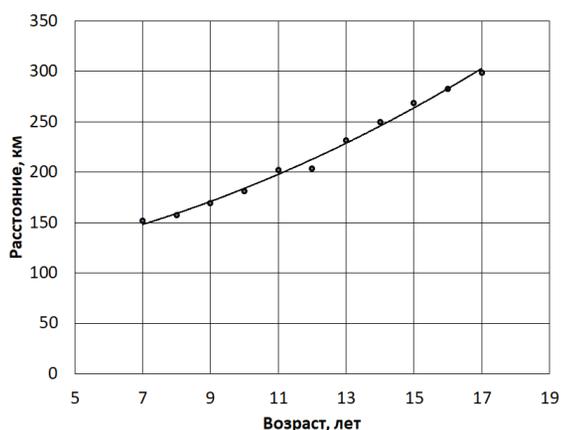


Рисунок 5 – Опытная зависимость пройденного расстояния от возраста испытуемых

Figure 5 – Experienced dependence of distance from the test people age

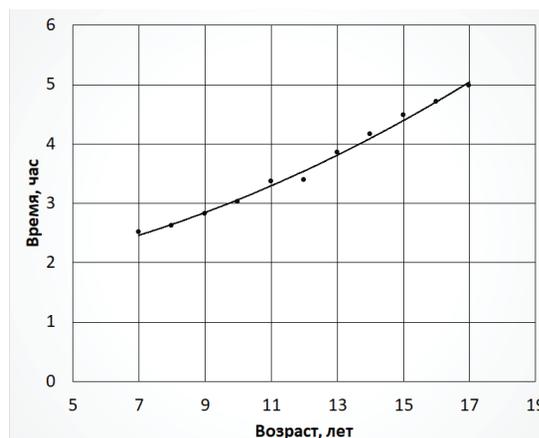


Рисунок 6 – Опытная зависимость времени в пути от возраста испытуемых

Figure 6 – Experienced dependence of time on the way from the test people age

Таблица 4  
Аппроксимация опытных данныхTable 4  
Approximation of empirical data

Показатель	Формула	Номер формулы
Пройденное расстояние от возраста испытуемых	$y = 0,5096x^2 + 3,2488x + 100,56$ $R^2 = 0,9928$	(2)
Время в пути от возраста испытуемых	$y = 0,0083x^2 + 0,0588x + 1,6443$ $R^2 = 0,9927$	(3)

Опытные данные аппроксимированы полиномиальной функцией второй степени и представлены в виде зависимостей 2, 3.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены следующие выводы по работе:

1) Анализ нормативных требований к перевозке организованных групп детей автомобильным транспортом позволил установить, что действующие нормативы не учитывают особенности различных возрастных групп, что является причиной возникновения ряда проблем.

2) Установлено, что основным фактором, влияющим на перевозочный процесс при организованной перевозке групп детей, является график движения транспортного средства, построенный с учётом психо-физиологических особенностей детского организма.

3) Разработана методика исследования процесса организованных перевозок групп детей автобусами в междугородном сообщении, позволившая определить оптимальные параметры транспортного процесса с учётом психо-физических особенностей различных возрастных групп.

4) Полученные в результате исследования зависимости пройденного расстояния и времени в пути от возраста перевозимых детей могут быть рекомендованы к практическому применению при разработке маршрутов и графиков движения автобусов, выполняющих организованную перевозку групп детей в междугородном сообщении.

Содержание представленных выводов позволяет сделать заключение о том, что цель работы, определённая как совершенствование процесса организованной перевозки детей автомобильным транспортом (автобусами) в междугородном сообщении с учётом возрастных особенностей достигнута.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зырянов В.В., Загидуллин Р.Р. Методика оценки и выбора варианта организации движения транспорта при проведении масштабных массовых мероприятий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 2. С. 43–47.

2. Корчагин В.А., Гринченко А.В. Выбор рационального типа автобуса: монография. Липецк, 2014. 89 с.

3. Якунина Н.В., Якунин Н.Н. Методология повышения качества перевозок пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам: монография. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. 289 с.

4. Pogotovkina N.S., Ugay S.M., Demakhina E.S., Volodkin P.P. problems of the organization and safety ensuring of school children busing in the russian federation (primorsky region). International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 8. С. 5530–5535.

5. Гуськов А.А., Молодцов В.А. Организация перевозок детей школьными автобусами // Автотранспортное предприятие. 2015. № 10. С. 14–17.

6. Пашутина Н.А. Опыт организации школьных перевозок специализированным пассажирским транспортом в Российской Федерации // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2014. № 6–2. С. 243–250.

7. Сиволобов Н.М., Ширяев С.А., Гудков В.А., Раюшкина А.А. Государственное регулирование обеспечения безопасности школьных перевозок у нас в стране и за рубежом // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2013. Т. 6. № 10 (113). С. 82–85.

8. Ширяев С.А., Раюшкина А.А., Сиволобов Н.М. Организационно-технологические проблемы перевозок школьников // Автомобильная промышленность. 2014. № 5. С. 22–25.

9. Ширяев С.А., Раюшкина А.А., Дулина Н.В., Сиволобов Н.М. Система школьных перевозок: опыт, оценка, тенденции развития // Автомобильная промышленность. 2015. № 10. С. 28–32.

10. Ширяев С.А., Раюшкина А.А., Сиволобов Н.М., Поляк А.М. Подходы к разработке методики определения рационального маршрута перевозок школьников к местам обучения в сельской местности при помощи программного обеспечения // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2014. № 2 (62). С. 45.

## REFERENCES

1. Zyryanov V.V., Zagidullin R.R. Metodika ocenki i vybora varianta organizacii dvizheniya transporta pri provedenii masshtabnyh massovyh meropriyatij [Assessment methodology and selection of traffic movement organization during the major public events]. Intellekt. Innovacii. Investicii. 2017; 2: 43–47 (in Russian).

2. Korchagin V.A., Grinchenko A.V. Vybora racional'nogo tipa avtobusa: monografiya [Rational type of bus: monograph]. Lipeck, 2014: 89 (in Russian).

3. YAkunina N.V., YAkunin N.N. Metodologiya povysheniya kachestva perevozok passazhirov avtomobil'nym transportom po regulyarnym marshrutam: monografiya [Methodology for enhancing the quality of passenger carriages by road transport by regular routes: monograph]. Orenburg: OOO IPK «Universitet», 2013: 289 (in Russian).

4. Pogotovkina N.S., Ugay S.M., Demakhina E.S., Volodkin P.P. problems of the organization and safety ensuring of school children busing in the russian federation (primorsky region). International Journal of Applied Engineering Research. 2016; T. 11. № 8: 5530–5535.

5. Gus'kov A.A., Molodcov V.A. Organizaciya perevozok detej shkol'nymi avtobusami [Organisation of carriage by school buses]. Avtotransportnoe predpriyatie. 2015; 10: 14–17 (in Russian).

6. Pashutina N.A. Opyt organizacii shkol'nyh perevozok specializirovannym passazhirskim transportom v rossijskoj federacii [Experience of the school carriages by special passenger transport in Russian Federation]. Gumanitarnye, social'no-ehkonomicheskie i obshchestvennye nauki. 2014; 6–2: 243–250 (in Russian).

7. Sivolobov N.M., SHiryayev S.A., Gudkov V.A., Rayushkina A.A. Gosudarstvennoe regulirovanie obespecheniya bezopasnosti shkol'nyh perevozok u nas v strane i za

rubezhom [State regulation of ensuring the safety of school carriages in our country and abroad]. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2013; T. 6. № 10 (113): 82–85 (in Russian).

8. SHiryayev S.A., Rayushkina A.A., Sivolobov N.M. Organizacionno-tekhnologicheskie problemy perevozok shkol'nikov [Organizational technological problems of school carriages]. Avtomobil'naya promyshlennost'. 2014; 5: 22–25 (in Russian).

9. SHiryayev S.A., Rayushkina A.A., Dulina N.V., Sivolobov N.M. Sistema shkol'nyh perevozok: opyt, ocenka, tendencii razvitiya [System of school carriages: experience, evaluation, development trends]. Avtomobil'naya promyshlennost'. 2015; 10: 28–32 (in Russian).

10. SHiryayev S.A., Rayushkina A.A., Sivolobov N.M., Polyak A.M. Podhody k razrabotke metodiki opredeleniya racional'nogo marshruta perevozok shkol'nikov k mestam obucheniya v sel'skoj mestnosti pri pomoshchi programmnoho obespecheniya [Approaches to developing methodology for determining of rational route of schoolchildren's carriages to the places of study in countryside through the software]. Upravlenie ehkonomicheskimi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal. 2014; 2 (62): 45 (in Russian).

**Поступила 22.04.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

**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

Янучкова Ольга Евгеньевна – аспирант кафедры автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», ORCID ID 0000-0003-3250-6703 (460018, г. Оренбург, п-р Победы, д.13, e-mail: yanuchkova.olya@yandex.ru).

Янучков Михаил Романович – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», ORCID ID 0000-0001-7277-7511, ResearcherID F-3212-2019, (460018, г. Оренбург, п-р Победы, д.13, e-mail: msi80@mail.ru).

Якунина Наталья Владимировна – д-р техн. наук, доц., проф. кафедры автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Оренбургский

государственный университет» ORCID ID 0000-0002-8952-2694 (460018, г. Оренбург, п-р Победы, д.13, e-mail: nat.yakunina56@yandex.ru).

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Olga E. Yanuchkova* – Postgraduate student of the Automobile Transport Department, Orenburg State University, ORCID ID: 0000-0003-3250-6703 (460018, Orenburg, 13 Pobeda Ave., e-mail: yanuchkova.olya@yandex.ru).

*Mihail R. Yanuchkov* – Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer the Automobile Transport Department, Orenburg State University, ORCID ID: 0000-0001-7277-7511, Researcher ID: F-3212-2019, (460018, Orenburg, 13 Pobeda Ave., e-mail: msi80@mail.ru).

*Natalya V. Yakunina* – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor the Automobile Transport Department, Orenburg State University, ORCID ID: 0000-0002-8952-2694 (460018, Orenburg, 13 Pobeda Ave., e-mail: nat.yakunina56@yandex.ru).

### ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Янучкова Ольга Евгеньевна* – вклад в общую работу составил 33%, что является 1/3 доли при разработке следующих разделов

научной статьи: «Аннотация», «Введение», «Материалы и методы», «Результаты», «Обсуждение и заключение».

*Янучков Михаил Романович* – вклад в общую работу составил 33%, что является 1/3 доли при разработке следующих разделов научной статьи: «Аннотация», «Введение», «Материалы и методы», «Результаты», «Обсуждение и заключение».

*Якунина Наталья Владимировна* – вклад в общую работу составил 33%, что является 1/3 доли при разработке следующих разделов научной статьи: «Аннотация», «Введение», «Материалы и методы», «Результаты», «Обсуждение и заключение».

### AUTHORS' CONTRIBUTION

*Olga E. Yanuchkova* – contribution to the overall research is 33%; 1/3 in abstract, introduction, materials and methods, results, discussion and conclusions.

*Mihail R. Yanuchkov* – contribution to the overall research is 33%; 1/3 in abstract, introduction, materials and methods, results, discussion and conclusions.

*Natalya V. Yakunina* – contribution to the overall research is 33%; 1/3 in abstract, introduction, materials and methods, results, discussion and conclusions.

**РАЗДЕЛ III.  
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

УДК 691.213.5:536.2.022

## ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕПЛОЗАЩИТНАЯ СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО РАСТВОРА ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ

Л.Х. Загороднюк<sup>1</sup>, Д.А. Сумской<sup>1\*</sup>, С.В. Золотых<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет, им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород, Россия  
\*pr9nik2011@yandex.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Статья посвящена актуальной проблеме теплоизоляции зданий и сооружений. В статье представлен разработанный теплоизоляционный раствор пониженной плотности с улучшенными теплотехническими характеристиками. Целью работы является повышение эффективности теплозащитной системы с использованием теплоизоляционного раствора пониженной плотности.

**Методы и материалы.** Проведены испытания на участке теплотехнического контроля ООО «Интеллект-сервис-ЖБК-1» по определению сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции.

**Результаты.** Конструкция стеновой системы, состоящая из газосиликатного блока «Аэробел» D500 (625×200×250 мм) и выполненная на теплоизоляционном кладочном растворе пониженной плотности, а также использование теплоизоляционного штукатурного раствора «теплоизоляционный раствор пониженной плотности» и универсального энергосберегающего покрытия «Moutrical» позволили повысить фактическое приведенное сопротивление теплопередаче с 0,9 до 1,4 (м<sup>2</sup>·К)/Вт (на 36 %).

**Заключение.** Проведение лабораторных исследований и натурных испытаний, отвечающих требованиям государственных стандартов, разработанного теплоизоляционного штукатурного раствора пониженной плотности показало, что данный теплоизоляционный раствор пониженной плотности обладает значительной эффективностью, что свидетельствует о целесообразности его использования при теплоизоляции зданий и сооружений. Особый экономический и экологический эффект достигается в связи с использованием местного сырья и отходов производства вспученного перлитового песка.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** теплоизоляция, теплоизоляционный раствор пониженной плотности, теплопередача ограждающей конструкции, сухие строительные смеси.

© Л.Х. Загороднюк, Д.А. Сумской, С.В. Золотых



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# EFFECTIVE HEAT-PROTECTIVE SYSTEM WITH THE USE OF THERMAL INSULATING SOLUTION OF REDUCED DENSITY

L.Kh. Zagorodnyuk<sup>1</sup>, D.A. Sumskey<sup>1\*</sup>, S.V. Zolotykh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,  
Belgorod, Russia

\*pr9nik2011@yandex.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The manuscript is devoted to the actual problem of thermal insulation of buildings and structures. The paper presents a developed low-density insulation solution with improved heat-engineering characteristics. The aim of the work is to increase the efficiency of the heat-shielding system using a low-density heat-insulating solution.

**Methods and materials.** The authors carried out tests at the site of heat engineering control of LLC «Intellect-service-ZBK-1» to determine the resistance to heat transfer of the enclosing structure.

**Results.** The construction of the wall system consisting of the «Aerobel» D500 gas-silicate block (625×200×250 mm) and made on a low-density heat-insulating masonry mortar, as well as with the use of a heat-insulating mortar and a universal «Moutrical» energy-efficient coating allowed increasing actual reduced heat transfer resistance from 0.9 to 1.4 (m<sup>2</sup>·K) / W (by 36%).

**Discussion and conclusions.** Laboratory research and field tests that meet the requirements of state standards and that develop low-density heat-insulating plaster demonstrate the low-density heat-insulating solution, which indicates the feasibility in thermal insulation of buildings and structures. The authors achieve special economic and ecological effect in connection with the use of local raw materials and waste production of expanded perlite sand.

**KEYWORDS:** thermal insulation, low density insulation mortar, walling heat transfer, dry construction mixtures.

© L.Kh. Zagorodnyuk, D.A. Sumskey, S.V. Zolotykh



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

### ВВЕДЕНИЕ

Повышение энергоэффективности и энергосбережения являются в настоящий период приоритетными тенденциями энергетической программы РФ. При сооружении энергоэффективного здания в первую очередь нужно позаботиться о предотвращении потерь тепла, а уже затем об оптимизации работ инженерных систем сооружения, об уменьшении расходов на электричество и введении других источников энергообеспечения. Теплоизоляционные материалы, основным параметром которых является теплопроводность, играют большую роль в обеспечении комфортных условий климата помещений. Задача разработки теплоизоляционных растворов со стабильными теплозащитными показателями является в данный период времени крайне важной [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. В результате комплексных исследований по созданию сухих смесей для теплоизоляционных растворов на основе композиционных вяжущих [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25] получены растворы пониженной плотности с высокими теплозащитными свойствами.

Рынок сухих строительных смесей постоянно растет и развивается. Существенно увеличивается количество потребляемых штукатурных, кладочных, ремонтных, изоляционных смесей. У сухих строительных смесей есть ряд преимуществ по сравнению с «мокрыми» растворами. Они отличаются высоким качеством, длительными сроками хранения, низкими затратами на транспортировку, более простой технологией приготовления раствора на объекте. К настоящему времени в классификацию сухих строительных смесей внесены теплоизоляционные штукатурные растворы, которые должны обладать средней плотностью в сухом состоянии не более  $500 \text{ кг/м}^3$ , прочностью сцепления с основанием не менее  $0,2 \text{ МПа}$ , прочностью при сжатии  $0,4\text{--}5,0 \text{ МПа}$ .

Разработанный нами раствор пониженной плотности на основе сухой теплоизоляционной смеси имеет плотность  $240\text{--}260 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводность  $0,051\text{--}0,051 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  при низкой себестоимости, составляющей около 12 руб. за кг продукции.

Предлагаемый теплоизоляционный раствор имеет пониженную плотность за счет использования композиционного вяжущего, полученного на основе портландцемента и минерального наполнителя – отходов производства вспученного перлитового песка. Данная композиция позволила получить цементный

камень вяжущего с пористой структурой и необходимой прочностью за счет формирования на различно ориентированных в пространстве частицах отходов производства вспученного перлитового песка, равномерно распределенных по всему объему кристаллов гидросиликатов кальция, создавая пористую объемную структуру.

Использование в качестве заполнителя перлитового песка марки М75 обеспечило получение теплоизоляционного раствора с плотностью  $240\text{--}260 \text{ кг/м}^3$ . Низкая плотность теплоизоляционного раствора способствовала значительному снижению коэффициента теплопроводности по сравнению с существующими аналогами. Имеющиеся на отечественном рынке теплоизоляционные растворы импортируются из-за рубежа, что отражается на их высокой стоимости. В связи с задачей рационального использования топливно-энергетических ресурсов страны необходимо создание эффективных теплозащитных материалов с пониженной плотностью, достаточными прочностными характеристиками и невысокой себестоимостью.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На участке теплотехнического контроля ООО «Интеллект-сервис-ЖБК–1» (г. Белгород) установлены макеты для проведения теплотехнических испытаний различных стеновых материалов и конструкций: силикатного и керамического кирпичей, газобетонных блоков, керамзитобетонных блоков и прочих. Макеты представляют собой установки, имеющие герметичные теплоизоляционные панели-стенки с пяти сторон с установкой аппаратуры для снятия изменяющихся параметров. С шестой стороны фасада устанавливался фрагмент стены из исследуемых материалов.

Для испытаний разработанного теплоизоляционного штукатурного раствора выполняли кладку из газосиликатных блоков «Аэробел» D500 ( $625\times 200\times 250 \text{ мм}$ ), выполненную на теплоизоляционном кладочном растворе пониженной плотности с толщиной шва до 5 мм.

При выполнении кладочных работ на модели необходимо было обеспечить надежную теплоизоляцию всех прилегающих швов и контактов к нижним, боковым и верхним стенкам.

Процесс установки исследуемой конструкции на основе блоков и разработанного раствора был проведен в три этапа, по окончании каждого проводились теплотехнические испытания.

На первом этапе производилась укладка блоков на разработанном кладочном теплоизоляционном растворе. Поскольку блоки обладают правильной формой, процесс их укладки не составляет особого труда. Однако первый ряд следует укладывать особенно тщательно и аккуратно, так как он будет играть роль своеобразного «фундамента», основы для стены. При кладке использовали пазогребневые газосиликатные блоки АэроБел «Premium» размером 625×200×250 мм производства ЗАО «АэроБел» с классом бетона по прочности на сжатие B5,0 и маркой по морозостойкости F100.

Газосиликатные блоки укладывают на разработанный раствор, чтобы выровнять поверхность по горизонтали. Чтобы улучшить адгезию и не дать влаге из раствора перейти в материал, поверхность газосиликатного блока следует увлажнять.

Прежде чем выкладывать все последующие слои, на первый ряд кладки наносили теплоизоляционный раствор. При кладке этот же раствор наносили на торцы всех выкладываемых блоков. Растворный состав, который выступает из швов, не затирали, а снимали ровной стороной мастерка. Затем по периметру выложенной кладки производили запенивание монтажной пеной для обеспечения герметичности системы. Через четыре недели устанавливали датчики и производили запись их показаний в течение восьми дней. Затем датчики снимали.

На втором этапе устанавливали маяки для обеспечения требуемой толщины штукатурного раствора 30–31 мм. Готовили раствор из предварительно приготовленной сухой смеси путем добавления необходимого количества воды. В емкость насыпали отдозированную порцию сухой смеси, затворяли водой и перемешивали лопаткой вручную. Главная цель при создании качественного штукатурного покрытия – максимальное снижение внутренних напряжений, возникающих в штукатурном слое под действием температуры и воды. Для обеспечения прочного сцепления слоя штукатурного раствора с основанием удаляли с поверхности грязь, пыль, предварительно смачивали водой. После чего наносили теплоизоляционный штукатурный раствор шпателем в три слоя.

При необходимости производили выравнивание поверхности теплоизоляционным штукатурным раствором. Слои укладывали не слишком толстыми, так как чем толще слой, тем больше вероятность, что в нем могут

возникнуть внутренние напряжения, которые также могут привести к растрескиванию штукатурного слоя. По истечению четырех недель устанавливали датчики и производили запись их показаний в течение 15 дней. Затем датчики снимали.

На заключительной стадии испытаний на затвердевший штукатурный раствор наносили универсальное энергосберегающее покрытие Moutrical. Покрытие наносили послойно кистью. Толщина одного слоя покрытия составляла примерно 1 мм, общая толщина слоев составила 3–4 мм.

После нанесения на поверхность и полного высыхания в течение 24 ч (при 20 °С) образуется высокоэластичное универсальное энергосберегающее покрытие, имеющее высокую адгезию к металлу, дереву, пластику и обладающее отличными теплоизоляционными, гидроизоляционными, звукоизоляционными и антикоррозионными свойствами. Данное покрытие, подобно эластомерным материалам, способно перекрывать мелкие трещины на фасадах домов и обеспечивает защиту поверхности от негативного влияния атмосферных осадков и перепада температур. Высокая эластичность позволяет энергосберегающему покрытию выдерживать резкие перепады температур, не образуя трещин. Полые микросферы представляют собой мелкодисперсные легкосыпучие порошки белого цвета, состоящие из тонкостенных (0,5–0,8 мкм) стеклянных частиц сферической формы диаметром 10...120 мкм и низкой плотностью – 200 кг/м<sup>3</sup>. Конечные свойства материала определяются диаметром микросфер, их гранулометрическим составом, толщиной стенок и количеством микросфер в готовом составе. Кроме микросфер, универсальное энергосберегающее покрытие Moutrical содержит аэрогель «Nanogel», относящийся к классу мезопористых материалов, в которых полости занимают не менее 50% объема. Доля полостей (их размер от 2 до 50 нм) в общем объеме может достигать 90–99%. Аэрогели характеризуются самыми высокими показателями прочности в расчете на единицу массы. Кроме того, это самые лучшие электро-, тепло- и звукоизоляторы. Новизна универсального энергосберегающего покрытия Moutrical подтверждается решением о выдаче патента от 11.06.2008 года №2342415 «Покрытие жидкокерамическое изоляционное».

По прошествии четырех недель устанавливали датчики и производили запись их показаний в течение 21 дня. Затем датчики снимали.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

На участке теплотехнического контроля предприятия ООО «Интеллект-сервис-ЖБК-1» были проведены испытания по определению сопротивления теплопередаче описанной выше ограждающей конструкции.

Контролируемый объект: стеновая система, состоящая из газосиликатного блока «Аэробел» D500 (625×200×250 мм), выполненного на теплоизоляционном растворе пониженной плотности с применением теплоизоляционного штукатурного покрытия «теплоизоляционный раствор пониженной плотности» (240–260 кг/м<sup>3</sup>) толщиной 30–31 мм и универсального энергосберегающего покрытия «Moutrical» толщиной 3–4 мм.

Схема крепления датчиков ИТП МГ4.03-100 «Поток» приведена на рисунке 1.

Условия проведения длительных испытаний стеновой системы, включающие наблюдения за температурой и влажностью наруж-

ного воздуха в течение 21 дня, приведены в таблице 1.

Выбор реперной зоны осуществлялся с помощью тепловизора FLIR B 250, а регистрация преобразователей ИТП МГ4.03-100 «Поток» осуществлялся с помощью лазерного дальномера BOSCH DLE 70.

Наружная стена макета на термограммах приведена на рисунках 2,3.

Испытания проводили в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, при нестационарном теплообмене на соответствие требованиям СП 50.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»), СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», по методике ГОСТ 25380–2014 «Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции». Результаты испытаний приведены в таблице 2.

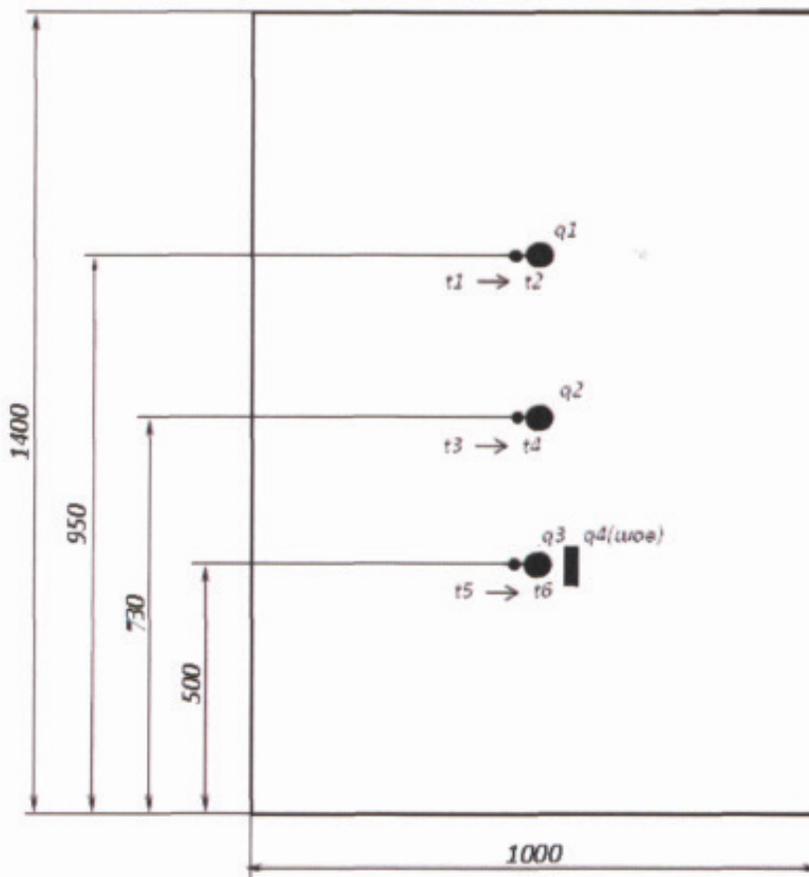


Рисунок 1 – Схема крепления датчиков ИТП МГ4.03-100 «Поток»

Figure 1 – Fastening scheme of ITP sensors of the MG4.03-100 «Flow»

Таблица 1  
Условия испытаний стеновой системы

Table 1  
Test conditions of the wall system

№ п/п	Параметры	Среднее значение за период испытания
1	Температура наружного воздуха, °С	+0,27
2	Относительная влажность наружного воздуха, %	91,4
3	Температура наружного воздуха, °С	-4,68
4	Относительная влажность наружного воздуха, %	87,3
5	Температура наружного воздуха, °С	-3,05
6	Относительная влажность наружного воздуха, %	78,9

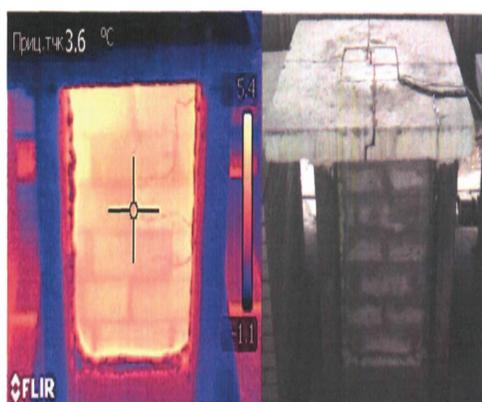


Рисунок 2 – Наружная стена макета перед испытанием

Figure 2 – Outer wall of the layout before the test

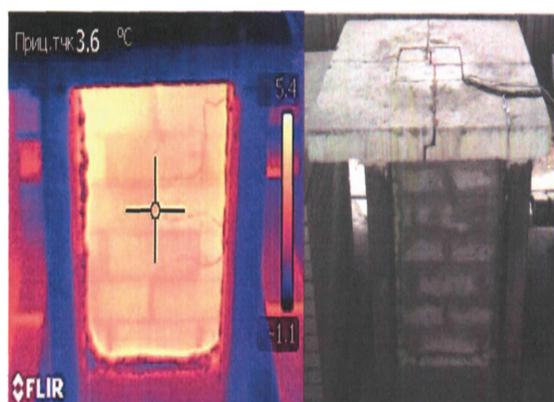


Рисунок 3 – Наружная стена макета во время испытания (на термограмме)

Figure 3 – Outer wall of the layout during the test (on the thermogram)

Таблица 2  
Результаты определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции и нормативные требования к ней

Table 2  
Results of determining the resistance to heat of the transfer structure and regulatory requirements for such structure

Стеновая конструкция	Расчетное сопротивление теплопередаче, (м <sup>2</sup> ·К)/Вт	Фактическое сопротивление теплопередаче, (м <sup>2</sup> ·К)/Вт
«Аэробел» D500 на ц/п кладочном растворе, (δ = 200 мм)	R = 1,4*	0,9
«Аэробел» D500 на теплоизоляционном растворе пониженной плотности, (δ = 200 мм)	— **	1,1
«Аэробел» D500 на теплоизоляционном кладочном растворе пониженной плотности, (δ = 200 мм); теплоизоляционный штукатурный раствор пониженной плотности, (δ = 30–31 мм)		1,3
«Аэробел» D500 на теплоизоляционном кладочном растворе пониженной плотности, (δ = 200 мм); теплоизоляционный штукатурный раствор пониженной плотности (δ = 30–31 мм); универсальное энергосберегающее покрытие «Moutrical» (δ = 3–4 мм)		1,4

\* для условий эксплуатации «Б», при влажности W = 12%;

\*\* расчетное сопротивление теплопередаче не указано в виду отсутствия значения коэффициента теплопроводности материала «теплоизоляционный раствор пониженной плотности».

На основании длительных испытаний принято следующее заключение: испытуемые покрытия «теплоизоляционный раствор пониженной плотности» и универсальное энергосберегающее покрытие «Moutrical» позволили повысить фактическое приведенное сопротивление теплопередаче конструкции стеновой системы, состоящей из газосиликатного блока «Аэробел» D500 (625×200×250 мм) на теплоизоляционном растворе пониженной плотности, с 0,9 до 1,4 (м<sup>2</sup>·К)/Вт, что дает повышение до 36%.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-24113.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Таким образом была подготовлена и поэтапно испытана стеновая система, в которой на первом этапе производили укладку газосиликатных блоков «Аэробел» D500 (625×200×250 мм) на разработанном теплоизоляционном растворе пониженной плотности, на втором этапе наносили теплоизоляционный штукатурный раствор «теплоизоляционный раствор пониженной плотности» (240 кг/м<sup>3</sup>) толщиной 30–31 мм, на заключительной стадии испытаний на затвердевший теплоизоляционный штукатурный раствор наносили универсальное энергосберегающее покрытие Moutrical толщиной 3–4 мм.

2. Установлено, что разработанный теплоизоляционный раствор, используемый при кладке стеновой конструкции, а также при использовании его в качестве штукатурного теплоизоляционного раствора в совокупности с энергосберегающим покрытием «Moutrical» позволяет значительно снизить сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции более чем в два раза, что свидетельствует об эффективности разработанного теплозащитного материала с использованием разработанных модифицированных вяжущих.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Козлов С.Д., Коридзе В.Г., Бондарь А.В., Чайковский А.О. Теплая штукатурка. Утеплитель для стен дома // Бюллетень науки и практики. 2017. № 5. С. 112–115.
2. Сигитова Г.П. Пенопласт как теплоизоляционный материал на основе жесткого пенополиуретана модифицированного полиорганосилоксаном // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 6. С. 156.
3. Золотухина Н.В., Гринь О.В. Фибролит – теплоизоляционный строительный материал // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. №10. С. 95–100.
4. Зин М.Х., Тихомирова И.Н. Теплоизоляционный материал на основе вспученного перлита и вспененного минерального связующего // Строительные материалы. 2019. № 1–2. С. 107.
5. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В. Высокопористый теплоизоляционный материал на основе жидкого стекла // Физика и химия стекла. 2017. Т. 43. № 2. С. 222–230.
6. Шарапов О.Н., Полякова В.В. Анализ теплоизоляционного материала на основе органических отходов // Университетская наука. 2017. № 2. С. 55–57.
7. Ган И.В., Золотухина Н.В. Современная теплоизоляционная штукатурная смесь Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 9. С. 128–131.
8. Storodubtseva T.N., Aksomitny A.A., Sadrtidinov A.R. Thermal insulation properties of wood polymeric sand composite // Solid State Phenomena. 2018. Т. 284. С. 986–992.
9. Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Чепенко А.С. Особенности процессов гидратации высокодисперсных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 12. С. 105 – 113.
10. Лесовик В.С., Пучка О.В., Вайсера С.С., Елистраткин М.Ю. Новое поколение строительных композитов на основе пеностекла // Строительство и реконструкция. 2015. № 3. С. 146–154.
11. Елистраткин М.Ю., Минакова А.В., Джамиль А.Н., Куковицкий В.В., Эльян И.Ж.И. Композиционные вяжущие для отделочных составов // Строительные материалы и изделия. 2018. № 2. С. 37–44.
12. Аниканова Л.А. Стеновые материалы на композиционном полимерминеральном вяжущем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6. С. 127–133.
13. Ramachandran V.S. Handbook of analytical techniques in concrete science and technology, Norwich, New York, 2001.
14. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N., Kuprina A.A. The control of building composite structure formation through the use of multifunctional modifiers // Research journal of applied sciences. 2015. Т 10. № 12. С. 931–936.
15. Bazhenov Y.M., Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Yerofeyeva I.V., Chernysheva N.V., Sumskey D.A. Concerning the role of mineral additives in composite binder content

// International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. T 8. № 4. С. 22649–22661.

16. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Mestnikov A.E., Kudinova A.I., Sumskoi D.A. Designing Of Mortar Compositions On The Basis Of Dry Mixes // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 5. С. 12383–12390.

17. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов Ковдорского месторождения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 16–19.

18. Вишневецкая Я.Ю., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 53–56.

19. Щукина Т.В., Копытина М.Ю., Китаев Д.Н., Сухоруких А.С. Теплозащитные свойства покрытий на основе сухих строительных смесей нового поколения // Строительные материалы. 2018. № 4. С. 71–76.

20. Козлов А.В., Балахонкина С.Ю. Сухие строительные смеси «теплой» серии компании «Фаворит» на основе легкого пористого наполнителя пенокерамики Kerwood // Сухие строительные смеси. 2018. № 1. С. 8–9.

21. Шишакина О.А., Паламарчук А.А., Кочуров Д.В., Аракелян А.Г. Характеристика материалов для внутренней и наружной облицовки зданий и сооружений // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. С. 46.

22. Логанина В.И., Фролов М.В., Скачков Ю.П. Оценка влияния отделочных покрытий на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 11 (122). С. 1349–1356.

23. Старцев Я.В., Филиппова Т.М. Теплоизоляция в энергосберегающих технологиях в строительстве // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2018. № 12. С. 227–230.

24. Кульшикова С.Т., Кудашева А.Ф. Композиционное вяжущее с использованием золошлаковых отходов // Актуальная наука. 2018. № 9. С. 9–14.

25. Sun J., Chen Z., Wang Z. Hydration mechanism of composite binders containing blast furnace ferronickel slag at different curing temperatures // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2018. T. 131. № 3. pp. 2291–2301.

## REFERENCES

1. Kozlov S.D., Koridze V.G., Bondar' A.V.,

Chajkovskij A.O. Toplaja shtukaturka. Uteplitel' dlja sten doma [Warm plaster. Insulation for the walls of the house]. B'ulleten' nauki i praktiki. 2017; 5: 112–115.

2. Sigitova G.P. Penoplast kak teploizoljacionnyj material na osnove zhestkogo penopoliuretana modificirovannogo poliorgansilaksanom [Polyfoam as a thermal insulation material based on rigid polyurethane foam modified by polyorganosiloxane]. Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2017; 6: 156 (in Russian).

3. Zolotuhina N.V., Grin' O.V. Fibrolit - teploizoljacionnyj stroitel'nyj material [Fiberboard – thermal insulation building material]. Resursojenergojeffektivnye tehnologii v stroitel'nom komplekse regiona. 2018; 10: 95–100 (in Russian).

4. ZinM.H., Tihomirova I.N. Teploizoljacionnyj material na osnove vspuchennogo perlita i vspennogo mineral'nogo svjazujushhego [Thermal insulation material based on expanded perlite and foamed mineral binder]. Stroitel'nye materialy. 2019; 1–2: 107 (in Russian).

5. Abdrahimova E.S., Abdrahimov V. Vysokoporistyj teploizoljacionnyj material na osnove zhidkogo stekla [Highly porous insulating material based on liquid glass]. Fizika i himija stekla. 2017; T. 43. no 2: 222–230 (in Russian).

6. Sharapov O.N., Poljakova V.V. Analiz teploizoljacionnogo materiala na osnove organicheskikh othodov [Analysis of thermal insulation material based on organic waste]. Universitetskaja nauka. 2017; 2: 55–57 (in Russian).

7. Gan I.V., Zolotuhina N.V. [Modern heat-insulating plaster mix] Sovremennaja teploizoljacionnaja shtukaturnaja smes' Resursojenergojeffektivnye tehnologii v stroitel'nom komplekse regiona. 2018; 9: 128–131 (in Russian).

8. Storodubtseva T.N., Aksomitny A.A., Sadrtidinov A.R. Thermal insulation properties of wood polymeric sand composite. Solid State Phenomena. 2018; 284: 986–992.

9. Zagorodnjuk L.H., Sumskoj D.A., Chepenko A.S. Osobennosti processov gidratacii vysokodispersnyh vjzhashhih [Hydration features of the highly dispersed binders]. Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2018; 12: 105–113 (in Russian).

10. Lesovik V.S., Puchka O.V., Vajsera S.S., Elistratkin M.Ju. Novoe pokolenie stroitel'nyh kompozitov na osnove penostekla [New generation of building composites based on foam glass]. Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2015; 3: 146–154 (in Russian).

11. Elistratkin M.Ju., Minakova A.V., Dzhamil' A.N., Kukovickij V.V., Jel'jan I.Zh.I. Kompozicionnye vjzhushhie dlja otdelochnyh sostavov [Composite binders for finishing compositions]. Stroitel'nye materialy i izdelija. 2018; T. 1. № 2: 37–44 (in Russian).
12. Anikanova L.A. Stenovye materialy na kompozicionnom polimermineral'nom vjzhushhem [Wall materials on composite polymer-mineral binder]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2017; 6: 127–133 (in Russian).
13. Ramachandran V.S. Handbook of analytical techniques in concrete science and technology, Norwich, New York, 2001.
14. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N., Kuprina A.A. The control of building composite structure formation through the use of multifunctional modifiers. Research journal of applied sciences. 2015; T 10. № 12: 931–936.
15. Bazhenov Y.M., Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Yerofeyeva I.V., Chernysheva N.V., Sumskey D.A. Concerning the role of mineral additives in composite binder content. International Journal of Pharmacy and Technology. 2016; T 8. № 4: 22649–22661.
16. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Mestnikov A.E., Kudina A.I., Sumskoi D.A. designing of mortar compositions on the basis of dry mixes. International Journal of Applied Engineering Research. 2015; T. 10. № 5: 12383–12390.
17. Shejchenko M.S., Lesovik V.S., Alfimova N.I. Kompozicionnye vjzhushhie s ispol'zovaniem vysokomagnezial'nyh othodov Kovdorskogo mestorozhdenija [Composite binders using high-magnesian waste from the Kovdorsky deposit]. Vestnik BGU im. V.G. Shuhova. 2014; 4: 16–19 (in Russian).
18. Vishnevskaja Ja.Ju., Lesovik V.S., Alfimova N.I. Jenergoemkost' processov sinteza kompozicionnyh vjzhushhih v zavisimosti ot genezisa kremnezemsoderzhashhego komponenta [Energy intensity of the processes of the composite binders' synthesis, depending on the genesis of the silica-containing component]. Vestnik BGU im. V.G. Shuhova. 2011; 3: 53–56 (in Russian).
19. Shhukina T.V., Kopytina M.Ju., Kitaev D.N., Suhorukih A.S. Teplozashhitnye svoystva pokrytij na osnove suhih stroitel'nyh smesej novogo pokolenija [Heat-shielding properties of coatings based on dry construction mixtures of the new generation]. Stroitel'nye materialy. 2018; 4: 71–76 (in Russian).
20. Kozlov A.V., Balahonkina S.Ju. Suhie stroitel'nye smesi «teploj» serii kompanii «Favorit» na osnove legkogo poristogo napolnitelja penokeramiki Kerwood [Dry construction mixtures of the “warm” series of the company “Favorit” based on a light porous filler of Kerwood foam ceramics]. Suhie stroitel'nye smesi. 2018; 1: 8–9 (in Russian).
21. Shishakina O.A., Palamarchuk A.A., Kochurov D.V., Arakeljan A.G. Harakteristika materialov dlja vnutrennej i naruzhnoj oblicovki zdaniy i sooruzhenij [Characteristics of materials for interior and exterior cladding of buildings and structures]. Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2019; 1: 46 (in Russian).
22. Loganina V.I., Frolov M.V., Skachkov Ju.P. Ocenka vlijanija otdelochnyh pokrytij na izmenenie vlazhnostnogo rezhima gazobetonnoj ograzhdajushhej konstrukcii [Assessment of the finishing coatings' influence on the change in the moisture regime of a gas-concrete enclosing structure]. Vestnik MGSU. 2018; T. 13. № 11 (122): 1349–1356 (in Russian).
23. Starcev Ja.V., Filippova T.M. Teploizoljacija v jenergosberegajushhih tehnologijah v stroitel'stve [Thermal insulation of energy-saving technologies in construction]. Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2018; 12: 227–230 (in Russian).
24. Kul'shikova S.T., Kudasheva A.F. Kompozicionnoe vjzhushhee s ispol'zovaniem zoloshlakovyh othodov [Composite binder using ash and slag waste]. Aktual'naja nauka. 2018; 9: 9–14 (in Russian).
25. Sun J., Chen Z., Wang Z. Hydration mechanism of composite binders containing blast furnace ferronickel slag at different curing temperatures. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2018; T. 131. № 3: 2291–2301.

**Поступила 29.04.2019, принята к публикации 21.06.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Загороднюк Лилия Хасановна – д-р техн. наук, проф. кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгородский государственный технологиче-*

ский университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, тел. 8-980-524-47-12, e-mail: LHZ47@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-8441-6999>).

Сумской Дмитрий Алексеевич – аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, тел. 8-908-781-81-52, e-mail: pr9nik2011@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0002-0001-6139>).

Золотых Сергей Викторович – аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. <https://orcid.org/0000-0002-4436-7432>).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Liliya Kh. Zagorodnyuk – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials Science, Products and Constructions, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., phone: 8-980-524-47-12, e-mail:

LHZ47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8441-6999>).

Dmitry A. Sumskey – Postgraduate student of the Department of Building Materials Science, Products and Constructions, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., phone: 8-908-781-81-52, e-mail: pr9nik2011@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0001-6139>).

Sergey V. Zolotykh – Postgraduate student of the Department of Building Materials Science, Products and Constructions, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., <https://orcid.org/0000-0002-4436-7432>).

#### ВКЛАД СОАВТОРОВ

Загороднюк Л. Х. – 40%

Сумской Д.А. – 40%

Золотых С. В. – 20%

#### AUTHORS' CONTRIBUTION

Liliya Kh. Zagorodnyuk – 40%

Dmitry A. Sumskey – 40%

Sergey V. Zolotykh – 20%

## УЛУЧШЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ АКТИВАЦИИ СЫРЬЯ

А.С. Мавлянов<sup>1</sup>, Э.К. Сардарбекова<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Бишкекская финансово-экономическая академия «АДАМ»,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>2</sup>Кыргызско-российский славянский университет (КРСУ),  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

\*elmira2507@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Цель работы: исследование влияния комплексной активации глинозольного сырья на реологические свойства керамической массы. В работе решаются вопросы по созданию рациональных коагуляционных структур на основе суглинков и золы совместно с пластификаторами.

**Материалы и методы.** В качестве сырьевых материалов были использованы местные лессовидные суглинки месторождения Баш-Карасуу, зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ) и пластификатор (нафтенат натрия, полученный из щелочных отходов химического производства). Технологические свойства сырьевых материалов определялись с помощью стандартных лабораторных методик в соответствии с действующими ГОСТами.

**Результаты.** Для выбора оптимальных составов на приготовленных различных массах определяли пластическую прочность структуры. Результаты показали, что в комплексно активированных составах пластическая прочность увеличивается в сравнении с неактивированным и механически активированным составом. Коэффициент чувствительности увеличивается у механически и комплексно активированных суглинков, а с вводом золы уменьшается, что предопределяет возможность интенсификации процесса сушки образцов на основе комплексно активированной массы.

**Заключение.** Механическая активация глинистого сырья уменьшает период истинной релаксации и увеличивает число пластичности керамической массы в 1,8–3,4 раза, однако при этом снижается эластичность, увеличивается вязкость и условная мощность на формование, что в целом ухудшает формовочные свойства масс. Комплексная активация глинозольного сырья уменьшает время истинной релаксации и обеспечивает увеличение эластичности, пластичности керамической массы на 46–47%, уменьшение вязкости в 1,5–2 раза, условной мощности на формование на 37–122% в сравнении с исходным суглинком. Керамические массы на основе комплексно активированного глинозольного сырья относятся к I СМТ с улучшенными реологическими свойствами, изделия на их основе проходят через мундштук на 5–7 сек.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** суглинки; зола; глинозольная смесь; комплексная активация; технологические, реологические свойства; деформации; пластичность; эластичность, истинная релаксация.

© А.С. Мавлянов, Э.К. Сардарбекова



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CERAMIC MASSES: IMPROVEMENT BY COMPLEX MATERIAL ACTIVATION

A.S. Mavlyanov<sup>1</sup>, E.K. Sardarbekova<sup>2\*</sup>  
Bishkek Finance and Economic Academy / ADAM  
Kyrgyz-Russian Slavic University,  
Bishkek, Kyrgyz Republic  
\*elmira2507@mail.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The objective of the research is to study the effect of the complex activation of the alumina raw material on the rheological properties of the ceramic mass. In addition, the authors investigate solutions for the application of optimal coagulation structures based on loams and ash together with plastic certificates.

**Materials and methods.** The authors used the local forest like reserves of clay loams at the Bash-Karasu, ash fields of the Bishkek Central Heating Centre (BTEC) and plasticizer (sodium naphthenate obtained from alkaline chemical production wastes) as fibrous materials. Moreover, the authors defined technological properties of raw materials within standard laboratory methodology in accordance with current GOSTs.

**Results.** The researchers tested plastic durability on variously prepared masses for the choice of optimal structures. The paper demonstrated the plastic durability of complexly activated compounds comparing with non-activated and mechanically activated compounds. The sensitivity coefficient increased the amount of clay loams by mechanically and complexly activated, which predetermined the possibility of intensifying the process of drying samples based on complexly activated masses.

**Discussion and conclusions.** However, mechanical activation of clay material reduces the period of relaxation and increases the elasticity coefficient of ceramic masses by 1.8–3.4 times, meanwhile decreases elasticity, viscosity and the conventional power during molding, which generally worsens the molding properties of the masses. Complex activation of ash-clay material decreases the period of relaxation and provides an increase in elasticity, plasticity of ceramic masses by 46–47%, reduction in viscosity by 1.5–2 times, conventional power on molding by 37–122% in comparison with MA clay loams. Ceramic masses based on spacecraft alumina raw materials belong to the SMT with improved rheological properties; products based on them pass through the mouthpiece for 5–7 seconds.

**KEYWORDS:** clay loams, ash, ash-clay compound, complex activation, technological rheological properties, deformation, plasticity, elasticity, relaxation.

© A.S. Mavlyanov, E.K. Sardarbekova



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

### ВВЕДЕНИЕ

Принятая в Кыргызстане Государственная программа «Доступное жилье в Кыргызской Республике (КР)» на 2012–2020 гг. включает мероприятия по оснащению строительства стеновыми материалами, к которым относится керамический кирпич.

Заводы по производству керамического кирпича в КР работают в основном по пластической технологии. А основным сырьем являются лессовидные суглинки, относящиеся к типу низкосортного отощенного сырья. Получение качественной строительной керамики из такого сырья требует новых подходов к технологии его переработки.

Для формования изделий при любом способе производства необходимо обеспечить качественную подготовку глинистого сырья – массоприготовление, основной целью которого является разрушение природной структуры глинистого сырья.

Разрушение структуры глинистого сырья производят путем различных методов активации. Практический опыт химической активации суглинков с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1, 2, 3, 4] показывает, что их использование улучшает не только реологические и сушильные свойства масс, но и качество обожженных изделий. Кроме ПАВ, в технологии широко используются электролиты [3], например жидкое стекло, шламы газоочистки, побочные продукты лесохимии – кислоты жирные талловые омыленные [1], щелоче- и алюмосодержащие отходы [5,6], кислотосодержащие добавки-отходы [7].

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) [8], отходы нефтехимической [9, 10] и металлообрабатывающей [11, 12] промышленности содержат 3–5% эмульсии «вода-масло», водные растворы органических продуктов с добавками эмульгаторов, ингибиторов коррозии, легирующих и бактерицидных веществ. Использование СОЖ в керамическом производстве возможно в качестве пластификаторов, регулирующих упруго-пластические свойства керамической массы при формовании интен-

сификаторов процесса сушки.

Механоактивация или активация сырья измельчением – способ интенсификации физико-химических процессов. В ее основе лежит изменение реакционной способности твердых веществ под действием механических сил<sup>1</sup>.

Трудами таких ученых, как В.В. Болдырев, П.А. Ребиндер, Б.В. Дерягин, Аввакумов, Н.А. Кротов, В.Д. Кузнецов, А.Н. Фрумкин, Г.И. Стороженко, Л.Н. Тацки и др. было положено начало созданию современного научного направления в области изучения и использования тонкодисперсных систем и физико-химических процессов, обусловленных диспергированием.

Основной теоретической предпосылкой для использования методов механической активации является положение о том, что вещества в тонкодисперсном состоянии характеризуются не совсем обычными свойствами: они становятся более химически активными, плавятся при более низких температурах, лучше спекаются, дают более прочные спеки и т. д.<sup>2,3</sup> [13, 14, 15, 16, 17].

Исследования авторов, изучавших влияние механоактивации при пластическом формовании керамических масс, позволяют заключить, что при этом происходит: снижение чувствительности глиномассы к сушке<sup>4</sup> [17], снижение термического расширения и резкое увеличение огневой усадки, а также увеличение механической прочности, изменение коллоидно-химических свойств поровой составляющей пылеватых суглинков [13, 14, 18]. Основанные на механической активации технологии переработки применяются не только для глинистого сырья, но и промышленных отходов. Наибольший эффект достигается при изменении физико-химических свойств сырья<sup>5</sup> [19, 20] вследствие разрушения структуры природных агломератов.

Применение промышленных отходов способствует ресурсо- и энергосбережению в технологии строительной керамики, а также решаются проблемы утилизации. В КР, как и в ряде стран ближнего и дальнего зарубежья,

<sup>1</sup> Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. М. : Недра, 1988. 208 с.

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> Тацки Л.Н., Стороженко Г.И., Машкина Е.В., Кузмичев Н.В. Эффективный способ повышения качества керамического кирпича // Тенденции формирования науки нового времени : сб. статей Междун. научно-практ. конф. (17–28 декабря 2013 г.) / отв. ред. А.А. Сукиасян ; БашГУ. Уфа, 2014. Ч. 4. С. 230–234.

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Евтушенко Е.И. Активационные процессы в технологии строительных материалов. Белгород : БГТУ, 2003. 209 с.

самыми многотоннажными являются отходы зол ТЭЦ, которые могут быть сокращены и в дальнейшем ликвидированы только при рациональном их использовании в производстве строительных материалов, в том числе керамическом производстве.

В технологическом процессе массоподготовки большое значение приобретают вопросы образования коагуляционных структур, представляющих собой коллоидные системы с жидкой средой. Коллоидная система обладает определенными механическими свойствами, характеризующимися следующими не зависящими друг от друга структурно-механическими константами: модулем быстрой (упругой) эластической деформации, модулем медленной эластической деформации, условным статистическим пределом текучести, наибольшей пластической вязкостью. Упруго-пластично-вязкие свойства коагуляционной структуры определяются также показателями – эластичностью, пластичностью, периодом истинной релаксации. Эти свойства связаны со структурой подобных систем, поэтому их называют структурно-механическими или реологическими свойствами.

Основополагающие исследования по реологии дисперсных систем приведены П.А. Ребиндером, С.И. Нечипоренко, Л.М. Толстым, В.И. Воларовичем, И.И. Круглицким, Ф.Л. Овчаренко.

П.А. Ребиндер утверждает<sup>6</sup>, что образование изделий из строительной керамики связано с тремя типами структур: кристаллизационной, конденсационно-кристаллизационной и коагуляционной. Кристаллизационная структура образована силами химических связей атомов, молекул или кристаллических сростков с их упорядоченным расположением. У конденсационно-кристаллизационной структуры связи между частицами образованы за счёт главных валентностей. Коагуляционной

называется структура, образованная межмолекулярным сцеплением беспорядочно расположенных коллоидных частиц (в пасте или суспензии). Эти структуры возникают в результате взаимодействия между твердыми частицами (ван-дер-ваальсовские, электростатические силы), полностью осуществляемые через разделяющие их прослойки жидкости. Особенностью коагуляционной структуры является тиксотропность, т.е. способность к обратимому восстановлению после механического разрушения.

Известны исследования<sup>7,8</sup> [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29] по формированию коагуляционных структур дисперсных материалов в различных средах и при различных воздействиях.

Так, увеличение дисперсности масс строительной керамики в общем случае снижает их эластичность и период релаксации и повышает пластичность<sup>9</sup>. В исследованиях Г.И. Стороженко [13, 14] механическая активация Назаровского суглинка приводит к снижению эластичности керамической массы на 25–30%, периода истинной релаксации практически в 2 раза и увеличению пластичности по Воларовичу в 3,2 раза за счет роста упруго-эластических свойств системы. В целом увеличение дисперсности сырья ухудшает формовочные свойства массы, поэтому для управления структурно-механическими свойствами формовочных масс рекомендовано<sup>10</sup> вводить в шихту глину с большим содержанием глинозема ( $Al_2O_3$ ) типа огнеупорных глин или бентонитов в качестве пластификаторов [21, 22, 23] или ПАВ [21, 24, 25].

Регулирование коагуляционных структур осуществляют также введением в глинистые смеси различных наполнителей, таких как зола<sup>11</sup> [26], песок [27], которые уменьшают межмолекулярное воздействие между глинистыми частицами, вследствие чего получают

<sup>6</sup> Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. 382 с.

<sup>7</sup> Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев: Наукова думка, 1971. 72 с.

<sup>8</sup> Мавлянов А.С. Расчет сырьевых шихт и исследование свойств формовочных смесей и крупноразмерных керамических изделий. Бишкек: изд. «Олимп», 2003. 200 с.

<sup>9</sup> Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев: Наукова думка, 1971. 72 с.

<sup>10</sup> Там же.

<sup>11</sup> Мавлянов А.С. Расчет сырьевых шихт и исследование свойств формовочных смесей и крупноразмерных керамических изделий. Бишкек: изд. «Олимп», 2003. 200 с.

преобладающее развитие медленные эластические деформации.

Исследованиями В.З. Абдрахимова и др. [28] установлено, что при добавлении отощителей в виде шлака, пиритных огарков в монтмориллонитовую глину плавно снижается пластическая прочность структуры, что положительно сказывается на процессах их переработки. Кроме того, авторы утверждают, что изменение реологических свойств керамических масс путем добавления отощителей способствует уменьшению процессов разрушения, происходящих во время формовки и сушки керамических изделий.

Значительное влияние на структурно-реологические свойства керамических паст оказывает влажность. Автором [26] установлено, что с увеличением влажности керамической массы на основе шлакового порошка и глины на 1% (по сравнению с формовочной влажностью) пластическая вязкость, условные модуль деформации и статический предел текучести закономерно снижаются соответственно на 8–10%. Это объясняется уменьшением ван-дер-ваальсовых сил межмолекулярного притяжения вследствие развития сольватных слоев и появления в системе значительных количеств свободной воды, а также уменьшением капиллярных сил вследствие увеличения расстояний между частицами, что может привести к нарушению процесса формования и искажению структуры гранул.

Как было сказано выше, введение отощителя облегчает развитие медленных эластических деформаций и в то же время сдерживает развитие пластических [28]. Авторы установили [23], что введение в керамические массы шлака в количестве 20–30% и бентонита в количестве 5% позволяет получить наиболее прочную коагуляционную структуру с пластической прочностью 1,33–1,89 МПа.

Таким образом, для повышения пластичности масс, определяющегося увеличением дисперсности и увеличением количества глинистого вещества может быть рекомендовано введение в шихту высокодисперсных глин с высоким содержанием глинозема или ПАВ; введение в шихту отощителей ослабляют силы межмолекулярного взаимодействия в керамической массе, повышается эластичность и плавно снижается пластическая прочность структуры.

Несмотря на большое количество работ по изучению реологических свойств глинистых масс, вопросы создания оптимальных коагуляционных структур на основе суглинков и золы совместно с пластификаторами мало изучены. Поэтому исследования реологических свойств керамической массы на основе комплексно активированного глинозольного сырья представляют интерес.

Ранее [29, 30] были исследованы влияния совместной механической активации (МА) на технологические свойства глиняных и глинозольных масс. Чтобы усилить эффективность воздействия МА на улучшение реологических и технологических свойств керамических масс в данной работе применялась комплексная активация суглинков с золой и пластифицирующей добавкой.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве сырьевых материалов были использованы местные лессовидные суглинки месторождения Баш-Карасуу и зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ), химический и гранулометрический состав которых приведен в таблицах 1,2. В качестве ПАВ применили пластификатор ПО-ПБ-7 (нафтенат натрия, полученный из щелочных отходов химического производства).

Суглинки доставлены с карьера Баш-Карасуу. По данным Кыргызской методической экспедиции геолого-экономических исследований желтовато-серого цвета, плотного строения, мелкопористые, слабозапесоченные. Содержание водорастворимых солей – 0,87% (среднезасоленное сырье), число пластичности – 5,1 (малопластичное), гидрослюдисто-каолинитовые и высококарбонатные. Согласно классификации глин по сушильным свойствам<sup>12</sup> суглинки относятся к классу В – среднечувствительные к сушке, обладают средней воздушной усадкой. Оксиды кальция и магния встречаются в основном в виде кальцита и доломита, обуславливающих отличительную особенность местных суглинков.

Результаты исследований гранулометрического состава (таблица 2) позволили установить, что по ГОСТ 9169–75 суглинки являются грубодисперсным сырьем (менее 0,005 мм – 9,6 %).

В качестве техногенного сырья в работе использовалась зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ), кристаллическая составляющая которой включает слабоизмененные зерна минералов

---

<sup>12</sup> Федорова Т.П., Иванова Л.И., Герасимов В.И. Систематизация кирпичных глин // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей: сб. науч. тр. М. : ВНИИЭСМ, 1981. Вып. 11. С. 27–32.

кварца, полевого шпата, карбоната кальция и магния, а также новообразования, выделившиеся из расплава: двухкальциевый силикат, моноалюминат кальция, муллит и др.<sup>13</sup>

По химическому составу (см. таблицу 1) зола характеризуется высоким содержанием кремнезема и глинозема.

Частицы золы в основном характеризуются шероховатой поверхностью, что способствует их плотной агрегации<sup>14</sup>. Также присутствуют частицы, представляющие собой шарообразные агрегаты с наклонностью к глобулизации.

Удельная поверхность и гранулометрический состав зол зависят от вида сжигаемого топлива, условия сжигания и способа удаления золы за пределы котельной или ТЭС. Так как зола является продуктом обжига минеральной части топлива, то состав последнего в первую очередь и обуславливает свойства золы. Исследуемая зола БТЭЦ представляет собой рыхлый материал черно-серого цвета средней плотностью 870 кг/м<sup>3</sup>, удельной поверхностью 2240 см<sup>2</sup>/г, что относит ее к среднедисперсным. Содержание водорастворимых солей – 0,28% (незасоленное сырье)<sup>15</sup>.

В качестве поверхностно-активного вещества использована пластифицирующая добавка «ПО-ПБ-7», изготовленная по ТУ 0258-001-57548485-2003. ПАВ представляет собой

водный раствор наftenата натрия (мыло-нафт)  $C_5H_9(CH_2)_nCOONa$  и модифицирующей добавки. По основным показателям ПО-ПБ-7 относится к пластифицирующе-воздухововлекающему и гидрофобизирующему виду добавок. Наftenат натрия получают из щелочных отходов нефтехимического производства. По внешнему виду реагент представляет собой легкоподвижную жидкость темно-коричневого цвета плотностью 1,01–1,03 г/см<sup>3</sup>, массовая доля, %: нефтяных кислот – 42; минеральных масел – 56; натриевых солей – 2.

Комплексную активацию (КА) проводили в следующем порядке: смесь из суглинистого сырья и золы БТЭЦ (0 до 75%) подвергали совместной механической активации (МА) в смесителе-активаторе в течение 3 мин. Время активации было принято на основе проведенных ранее исследований [29,30]. Затем затворяли водой с формовочной влажностью (22–24%) с пластифицирующей добавкой в количестве 0,1%. Данная дозировка обусловлена тем, что введение более 0,1% ПАВ будет способствовать вовлечению в смесь более 5% воздуха, что может увеличить пластичность, но снизить при этом пластическую прочность структуры. После вылеживания в течение 10 суток масс различного состава были определены их реологические характеристики.

Таблица 1  
Химический состав сырья

Table 1  
Chemical composition of raw materials

Сырьевые компоненты	Химический состав, % по массе									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ппп	Σ
Суглинок	55,45	11,88	3,30	9,42	3,35	0,82	3,1	1,86	10,64	99,82
Зола БТЭЦ	51,57	21,87	3,70	3,09	1,24	1,47	0,52		16,54	100

Таблица 2  
Гранулометрический состав сырья

Table 2  
Granulometric composition of raw materials

Сырьевые компоненты	Фракции, мм					
	менее 0,005	0,005–0,01	0,01–0,25	0,25–0,5	0,5–1	1–2
Суглинок	9,6	41,5	42,65	2,05	1,2	3,0
Зола БТЭЦ	6,6	11,48	51	7,36	15,36	8,2

<sup>13</sup> Мавлянов А.С. Расчет сырьевых шихт и исследование свойств формовочных смесей и крупноразмерных керамических изделий. Бишкек : изд. «Олимп», 2003. 200 с.

<sup>14</sup> Там же.

<sup>15</sup> Мавлянов А.С. Расчет сырьевых шихт и исследование свойств формовочных смесей и крупноразмерных керамических изделий. Бишкек : изд. «Олимп», 2003. 200 с.

Таблица 3  
Технологические характеристики составов

Table 3  
Technological characteristics of the compositions

Состав	Шифры	Добавка золы, %	Форм. влажн. $W_{\phi}$ , %	Пласт. прочн. $P_m$ , МПа	$ctg\beta$	Коэфф. чувств. $K_{\chi}$
Исход-ные	I	0	24	1,52	1,7	1,4
	II	15	24,3	1,4	1,2	0,9
	III	30	24,5	1,1	1	0,73
	IV	45	25	0,6	0,8	0,49
	V	60	26	0,53	0,7	0,4
	VI	75	28	0,4	0,6	0,37
МА	I'	0	25	1,7	1,5	1,5
	II'	15	23	1,59	1,9	1,08
	III'	30	23,5	1,5	2	0,88
	IV'	45	24	1,28	2,2	0,55
	V'	60	25	1	2	0,5
	VI'	75	26	0,8	1,7	0,45
КА	I''	0	19	1,87	2,1	1,5
	II''	15	19,6	1,87	2,2	0,89
	III''	30	20	1,8	2,4	0,6
	IV''	45	20,6	1,68	2,5	0,44
	V''	60	22,5	1,36	2	0,35
	VI''	75	23	1,2	1,8	0,3

*Механическую активацию* проводили в смесителе-активаторе, работающем по принципу центробежно-ударной мельницы при скорости 800 оборотов в мин.

*Структурно-механические свойства* глиняных, зологлиняных масс до и после комплексной активации определялись с помощью пластометра конического портативного ПЛ-1 и на приборе Д.М. Толстого с параллельно смещающейся пластинкой и индикаторным отсчетом.

Эксперименты проводили следующим образом: из керамических масс на основе исходных, механоактивированных глиняных и глинозольных, а также комплексно активированных глинозольных смесей формовали образцы в форме параллелепипедов, несколько больше размера пластин. Пластинки с массой помещались под ручной пресс и сжимались до тех пор, пока толщина массы между пластинками становилась равной 6 мм. Излишки массы срезались вровень с краями пластинок.

Технологические свойства сырьевых материалов определялись с помощью стандартных лабораторных методик в соответствии с действующими ГОСТами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для выбора оптимальных составов на приготовленных массах из механоактивированного (МА), комплексно активированного (КА) и неактивированного (исходного) суглинка с золой (в количестве от 0 до 75%) определяли пластическую прочность структуры  $P_m$ . Составы смесей и технологические свойства приведены в таблице 3.

$P_m$  определяли графическим путем как точку пересечения кривых зависимостей от абсолютной влажности  $W$  (рисунок 1). На первом участке, где  $P_m$  выше значения  $P_m$  от оптимальной влажности  $W_{opt}$  недостаточно развиты гидратные оболочки из-за содержания в дисперсной системе преимущественно связанной воды. На втором участке происходит полное развитие гидратных оболочек. Увеличивает-

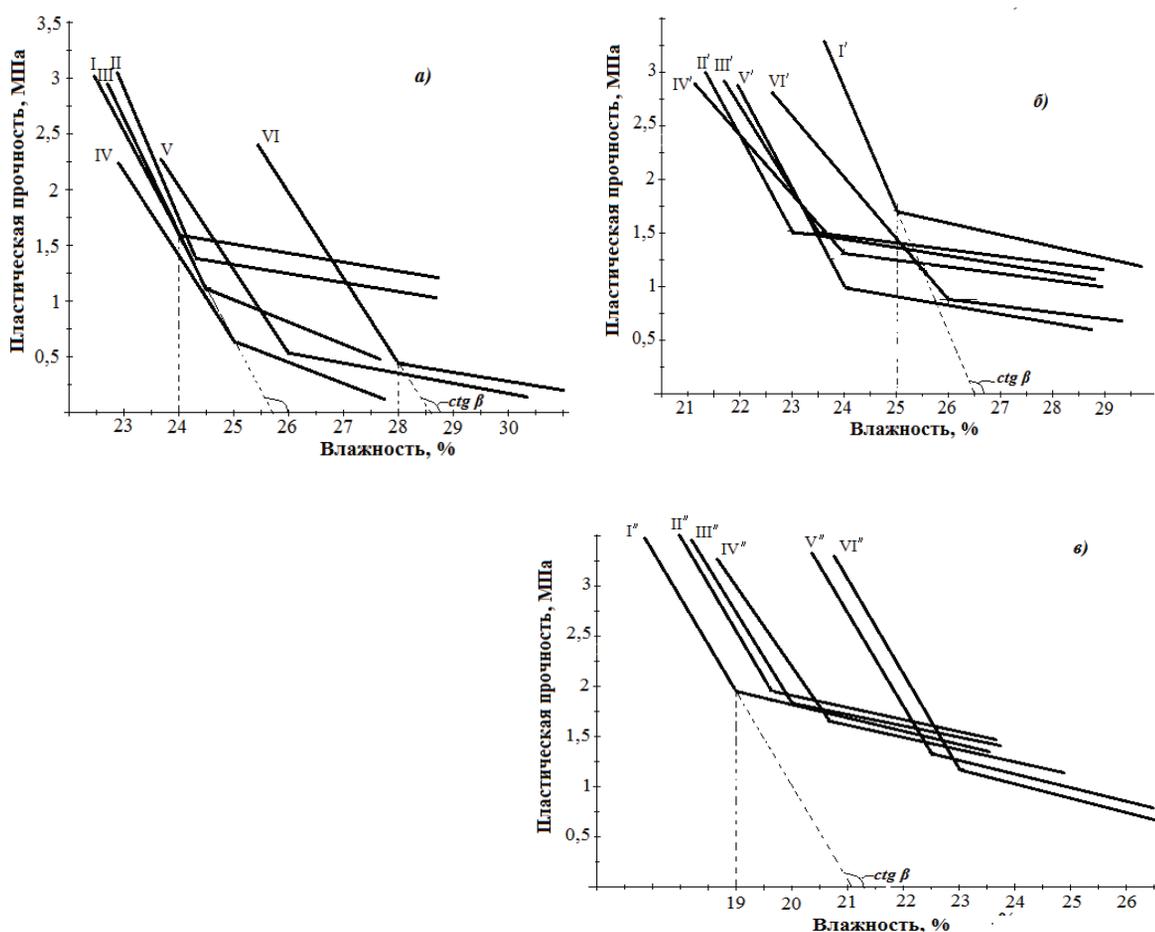


Рисунок 1 – Влияние формовочной влажности на пластическую прочность: а – исходных, б – МА, в – КА зологлиняных масс

Figure 1 – Effect of molding moisture on the plastic strength: a – initial; b – MA; c – KA clay-ashes masses

ся число контактов, по которым действуют ван-дер-ваальсовы силы, что улучшает деформационные свойства массы. Здесь масса приобретает так называемое рабочее состояние. Дальнейшее увеличение влажности приводит к резкому изменению свойств массы, обусловленное большим количеством иммобилизованной воды, масса теряет связность и перестает формоваться.

Для выбора оптимальных составов за критерий формуемости было принято значение угла  $\beta$  верхнего прямолинейного участка кри-

вой  $P_m$  к оси абсцисс (см. рисунок 1). Из данных заводской практики максимально допустимый предел колебаний давления, передаваемого массе ленточным прессом, выражающийся как предел колебаний  $P_m$  и соответствующий ему максимально допустимый предел колебаний влажности  $W$ , приняты равными 0,1 МПа и 2% соответственно, поэтому  $ctg\beta$  не должен быть меньше  $2^{16}$ .

Исследованиями установлено, что  $P_m$  и угол  $ctg\beta$  у исходных масс (рисунок 1, а) уменьшаются, формовочная влажность  $W_\phi$  увеличи-

<sup>16</sup> Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев : Наукова думка, 1971. 72 с.

вается с увеличением добавки золы. Это связано с уменьшением ван-дер-ваальсовых сил межмолекулярного притяжения.

На твердых частицах развиваются гидратные оболочки, в системе появляется свободная вода и ослабляется действие капиллярных сил. Кроме того, добавка золы играет пептизирующую (дезагрегирующую) роль, увеличивающую степень гидратации частиц. В МА составах (рисунок 1, б) уменьшение  $P_m$  и увеличение  $W_\phi$  с увеличением количества добавки золы происходит незначительно вследствие ослабления пептизирующей роли золы и увеличения сил межмолекулярного притяжения частиц за счет МА. Предел колебаний влажности колеблется от 1,5–2,2% (см. таблицу 3).

В КА составах (см. рисунок 1, в, таблицу 1) увеличивается  $\text{ctg } \beta$ , что позволяет массе с пониженной влажностью хорошо формоваться на ленточном прессе. Наибольший угол наклона  $\text{ctg } \beta = 2,5$  имеет КА глинозольная масса с 45% добавкой золы (IV' состав).  $P_m$  при этом увеличивается в сравнении с неактивированным и МА составом. Это происходит по следующим причинам: при совместной МА измельченные частицы суглинка и золы, в том числе несгоревшие угольные, сферолитовые, аморфизированные глинистые и др., соударяясь и перетираясь друг с другом и частицами суглинка способствовали образованию реакционноспособных участков частиц. А при КА (последующей активации ПАВ) полностью устранилось пептизирующее действие золы: межмолекулярные силы увеличились за счет интенсивного адсорбирования ПАВ на реакционноспособных участках, обусловленные измельчением частиц. Как известно, измельченные порошки всегда являются более активными адсорбентами, чем крупные зерна, т.е. данная КА обладает гидрофобно-пластифицирующим эффектом. Кроме того, введение ПАВ способствовало улучшению процессов распределения влаги в глинозольной смеси.

Коэффициент чувствительности  $K_\phi$  увеличивается у МА и КА суглинков, а с вводом золы уменьшается, что предопределяет возможность интенсификации процесса сушки образцов на основе КА массы.

С помощью прибора Д.М. Толстого определили величины деформаций по соответствующим кривым деформации от времени нагружения  $\varepsilon = f(t)$  масс оптимальных составов: I, I', IV', IV''.

С помощью этих кривых графическим путем рассчитаны: быстрая эластическая (упру-

гая) деформация  $\varepsilon_0$ , медленная эластическая (эластическая) деформация  $\varepsilon$  и градиент скорости деформации  $d\varepsilon/dt$  при фиксированных значениях нагрузки (P) для оптимальных составов: I, I', IV', IV'' (рисунок 2).

Общую деформацию  $\varepsilon_{\text{общ}}$  определяли, восстанавливая на ось ординат перпендикуляр из конечной точки кривой при 900 с. Упругая деформация  $\varepsilon_0$  соответствует данным на оси ординат при = 0,05-1 с., т.е. почти на самой оси.

Эластическую деформацию  $\varepsilon_2$  определяли по отрезку на оси ординат, отсекаемой касательной, проведенной к кривой соответствующей нагрузки данной величины.

Пластическая деформация  $\Delta\varepsilon_1$  соответствует разности между величиной общей и суммой величин упругой и эластической деформацией

$$\Delta\varepsilon_1 = \varepsilon_{\text{общ}} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_2). \quad (1)$$

Градиент скорости деформации  $d\varepsilon'/dt$  вычисляли как отношение отрезка  $\Delta\varepsilon_1$  ко всему времени нагружения и толщине образца – а = 0,6 см.

Так, для первого нагружения образца из чистого суглинка градиент скорости деформации (см. рисунок 1) вычисляли следующим образом:

$$\frac{\partial \varepsilon'}{\partial t} = \frac{10^{-5}}{900 \cdot 0,6} = 0,009 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}. \quad (2)$$

Аналогичный расчет производили и на всех остальных ступенях нагружения.

Напряжение сдвига вычисляли по формуле

$$P = \frac{Fg}{10} = 0,1 \text{ Па} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ МПа}, \quad (3)$$

где F – нагрузка, г; g – ускорение свободного падения 9,81 см/с<sup>2</sup>; 10 – площадь пластинок, см<sup>2</sup>.

Полученные экспериментальные данные показывают, что у керамических масс на основе МА суглинка (см. рисунок 2, б) наблюдается понижение упругой и эластической деформаций и увеличение скорости деформаций, а также испытывают нагрузку 1850–1950 г и не разрушаются в сравнении с чистым суглинком (см. рисунок 2, а). У МА и КА золокерамических масс происходит интенсивное развитие деформаций и разрушение при нагрузке 2850 г.

По полученным данным для всех нагрузок строили вспомогательные графики  $\varepsilon_0 = f_1(P)$ ,  $\varepsilon_2 = f_2(P)$  и  $d\varepsilon'/dt = f_3(P)$  для получения величин модулей упругого, условно-мгновенного  $E_1$  изэластического  $E_2$ , а также наибольшей пла-

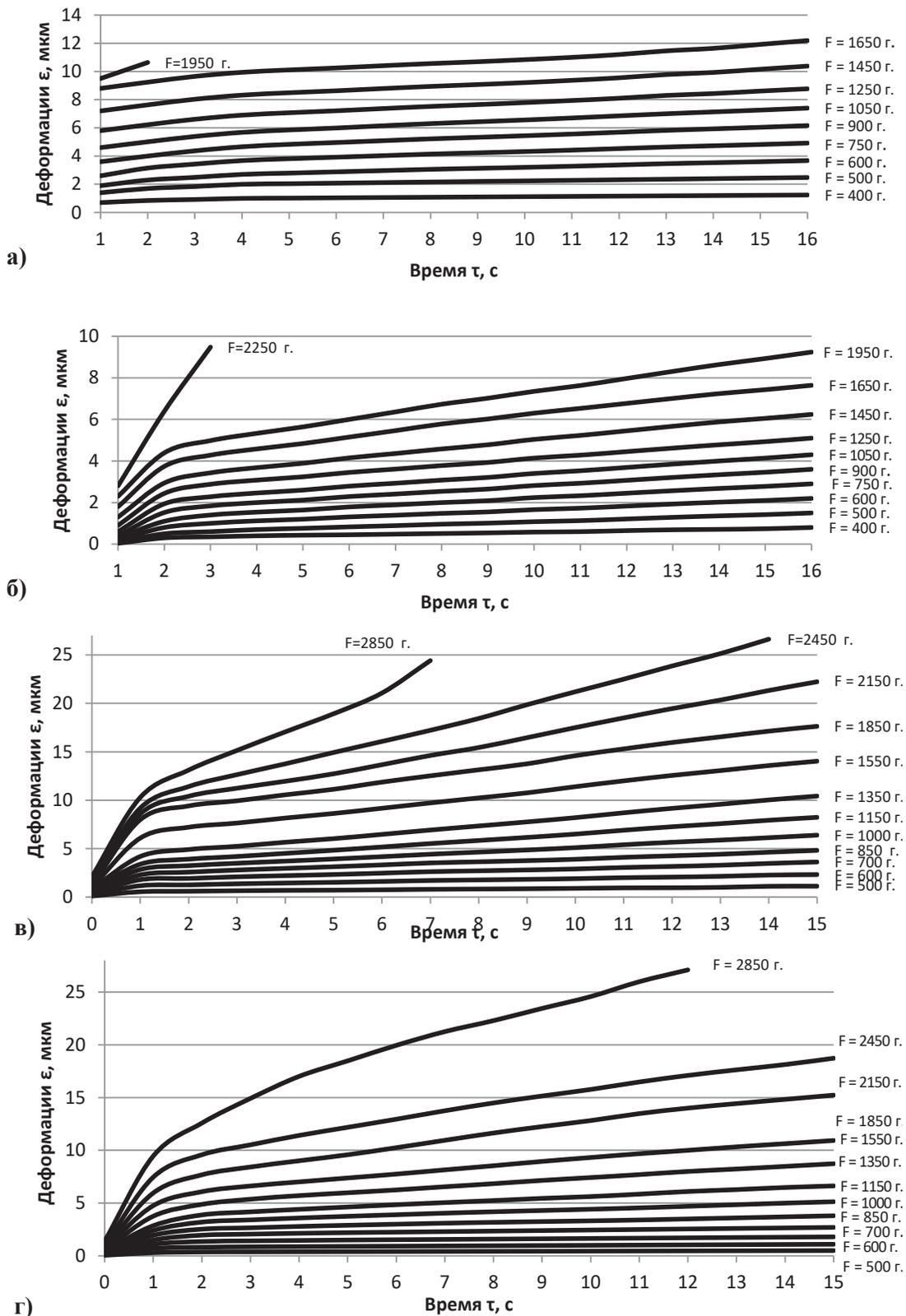


Рисунок 2 – Кривые зависимости  $\varepsilon(\tau)$  при различных величинах нагружения образцов на основе составов: а) – I; б) – I'; в) – IV'; г) – IV'' и 3,2 кПа соответственно для составов I, I', IV', IV'' (рисунок 3)

Figure 2 – Dependency curves  $\varepsilon(\tau)$  of loading samples based on compositions: а) – I; б) – I'; в) – IV'; г) – IV'' and 3.2 kPa respectively for I, I', IV', IV'' compositions (figure 3)

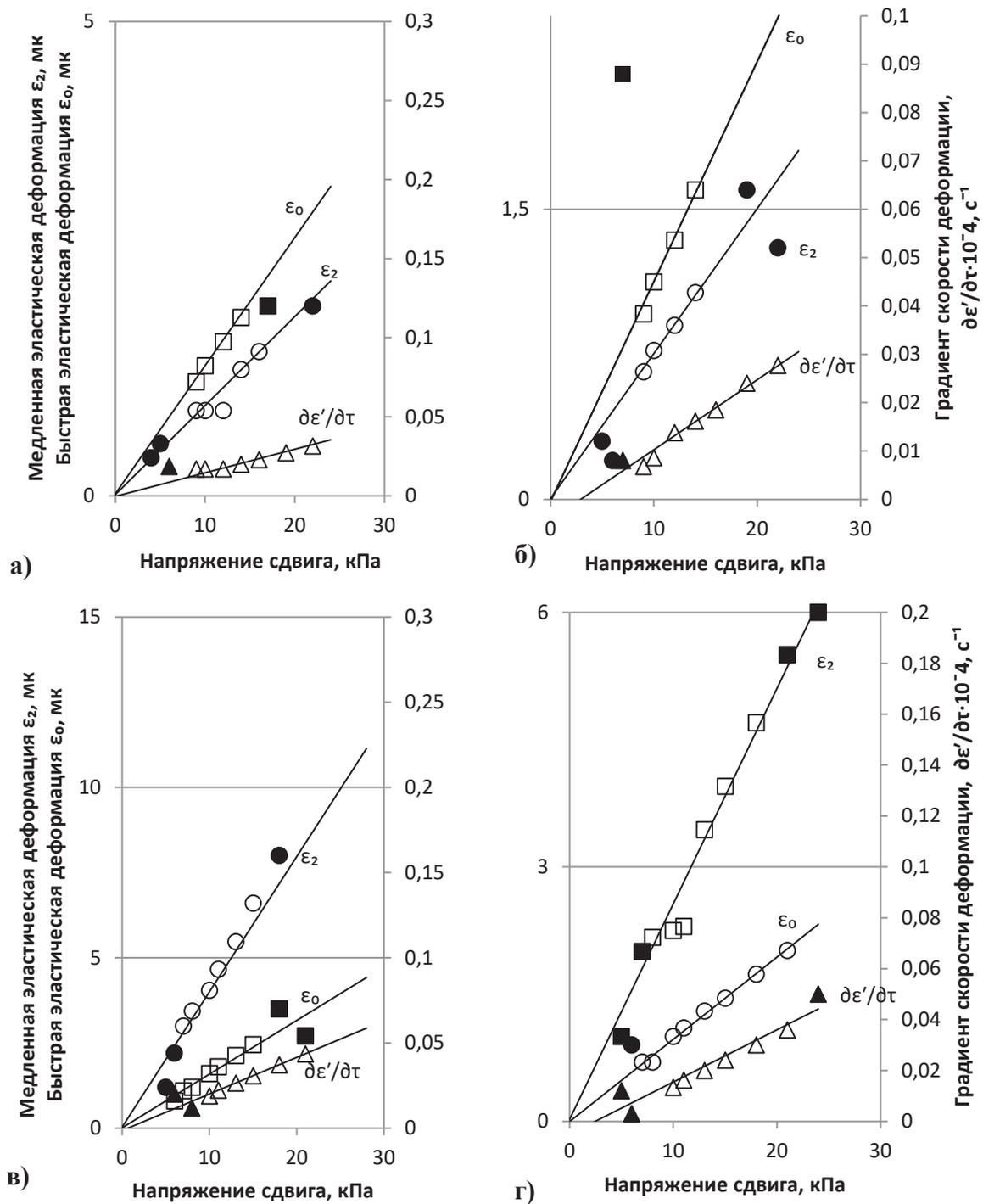


Рисунок 3 – Зависимости упругой ( $\epsilon_0$ ); эластической ( $\epsilon_2$ ) и градиента скорости ( $\partial\epsilon'/\partial\tau$ ) деформации от напряжения сдвига массы на основе составов: а – I; б – I'; в – IV'; г – IV''

Figure 3 – Dependences of elastic ( $\epsilon_0$ ); elastic ( $\epsilon_2$ ) and velocity gradient ( $\partial\epsilon'/\partial\tau$ ) strain on the mass shear stress based on compositions: а – I; б – I'; в – IV'; г – IV''

стической вязкости  $\eta_1$ . Значение условного статистического предела текучести  $P_{к1}$ , необходимое для расчета наибольшей пластической вязкости, определяли из графика  $d\varepsilon'/dt = f_3(P)$  как отрезок, отсекаемый прямой на оси: 0,7; 3; 1,2.

При построении графиков и расчете структурно-механических констант имелось в виду, что они характеризуют только практически неразрушенные структуры, у которых процессы разрушения и восстановления при нагружениях находятся в равновесии. Только в этом случае возможно постоянство величин модулей быстрой и медленной эластических деформации  $E_1$  и  $E_2$  и  $\eta_1$ . Поэтому на графиках  $\varepsilon_0 = f_1(P)$ ,  $\varepsilon_2 = f_2(P)$  и  $d\varepsilon_1/dt = f_3(P)$  (см. рисунок 3) четко определены области напряжений  $P$  (незакрашенные точки), в которых константы  $E_1$ ,  $E_2$  и  $\eta_1$  постоянны<sup>17</sup>.

Полученные независимые друг от друга структурно-механические константы:  $E_1$  и  $E_2$ ,  $\eta_1$  и  $P_{к1}$ , а также вычисленные на их основе деформации и реологические характеристики приведены в таблице 4.

Эластичность масс и период релаксации определены по формулам:

$$\lambda = E_1/(E_1 + E_2); \quad (4)$$

$$\Theta = 1/(E_1 + E_2). \quad (5)$$

Расчет деформаций для определения структурно-механического типа (СМТ) составов производили при условии  $P = 20 \cdot 10^4$  МПа и  $t = 1000$  с. Для I состава, например, следующим образом:

$$\varepsilon'_0 = \frac{20 \cdot 10^4}{E_1} = \frac{20 \cdot 10^4}{42,3 \cdot 10^5} = 0,047; \quad \varepsilon'_2 = \frac{20 \cdot 10^4}{E_2} = \frac{20 \cdot 10^4}{60 \cdot 10^5} = 0,033;$$

$$\varepsilon'_1 t = \frac{(20 \cdot 10^4 - P_{к1})t}{\eta_1} = \frac{(20 \cdot 10^4 - 0,7 \cdot 10^3) \cdot 10^3}{692 \cdot 10^7} = 0,028;$$

$$\sum \varepsilon = 0,108 = 100\%; \quad \varepsilon'_0 = 44\%; \quad \varepsilon'_2 = 31\%; \quad \varepsilon'_1 t = 25\%.$$

Далее рассчитана условная мощность деформации:

$$N\varepsilon = \frac{20 \cdot 10^4}{\sum \varepsilon} = \frac{20 \cdot 10^4}{0,108} = 185 \cdot 10^4 \text{ мкВт}.$$

Аналогично расчет проводили и для других составов.

Структурно-механический тип определяли по тройной диаграмме С.П. Нечипоренко: упругая деформация ( $\varepsilon'_0$ ) – эластическая деформация ( $\varepsilon'_2$ ) – пластическая деформация ( $\varepsilon'_1 t$ ) – рисунок 4. По этой диаграмме определяют шесть типов структур: 0 –  $\varepsilon'_0 > \varepsilon'_2 > \varepsilon'_1 t$ ; 1 –  $\varepsilon'_2 > \varepsilon'_0 > \varepsilon'_1 t$ ; 2 –  $\varepsilon'_2 > \varepsilon'_1 t > \varepsilon'_0$ ; 3 –  $\varepsilon'_0 > \varepsilon'_1 t > \varepsilon'_2$ ; 4 –  $\varepsilon'_1 t > \varepsilon'_0 > \varepsilon'_2$ ; 5 –  $\varepsilon'_1 t > \varepsilon'_2 > \varepsilon'_0$ .

Из проведенных исследований видно, что в керамических массах на основе суглинки (см. таблицу 4, состав I) преобладают упругие деформации, т.е. быстрые  $\varepsilon'_0$  (44%), которые ведут к хрупкому разрушению изделий на этапе формования и относятся к 0 СМТ (см. рисунок 4).

МА глинистого сырья (I') увеличивает  $E_1$  и  $E_2$  и  $P_{к1}$ , что связано с увеличением дисперсности, обусловившей усиление взаимодействия между частицами.  $\eta_1$ , условная мощность  $N\varepsilon$  увеличиваются, эластичность  $\lambda$  снижается, а пластичность системы  $P_{к1}/\eta_1$  повышается из-за снижения коэффициента внутреннего трения с одновременным ростом сил сцепления между диспергированными частицами твердой фазы. Незначительно снижается время истинной релаксации  $\theta$ , что влияет на сохранение сплошности<sup>18</sup>, но масса остается в 0 СМТ (см. рисунок 4).

В керамических массах на основе МА глинозольных смесей (IV') уменьшились  $E_1$  и  $E_2$  за счет перераспределения процентных соотношений в деформационном процессе. Это связано с ото-

<sup>17</sup> Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев : Наукова думка, 1971. 72 с.

<sup>18</sup> Нечипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев : Наукова думка, 1971. 72 с.

Таблица 4  
Структурно-реологические константы и характеристики глинозольных масс

Table 4  
Structural-rheological constants and characteristics of alumina masses

Структурно-механические константы и реологические характеристики	I	I'	IV'	IV''
Формовочная влажность $W_{\text{ф}}$ , %	24	25	24	20,6
Модуль упругой деформации $E_1 \cdot 10^{-5}$ , МПа	42,3	56,0	38	59
Модуль эластической деформации $E_2 \cdot 10^{-5}$ , МПа	60	85	24,7	36,2
Вязкость $\eta_1 \times 10^{-7}$ , МПа $\times$ с	692	870	465	612
Условный предел текучести $P_k \times 10^{-3}$ , МПа	0,7	3	1,2	3,2
Эластичность $\lambda$	0,415	0,397	0,606	0,620
Пластичность $P_k/\eta_1 \times 10^{-6}$ , с $^{-1}$	0,101	0,345	0,258	0,522
Период истинной релаксации $\Theta$ , сек	2790	2630	3100	1363
Упругая деформация $\epsilon'_0$ , %	44	42	29	30
Эластическая деформация $\epsilon'_2$ , %	31	30	45	43
Пластическая деформация $\epsilon'_t$ , %	25	28	26	27
Мощность условная, $N_{\epsilon} \times 10^{-4}$ , мкВт	185	243	114	169
Структурно-механический тип	0	0	I	I

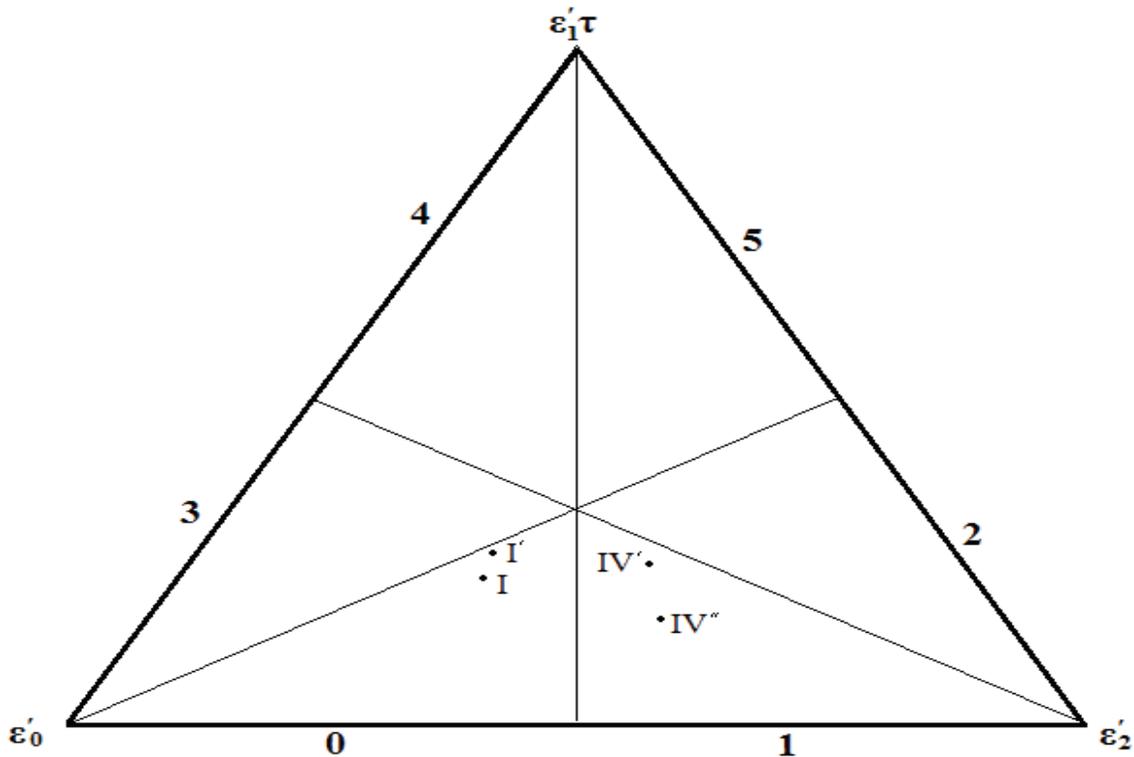


Рисунок 4 – Диаграмма развития деформаций керамических масс

Figure 4 – Deformation diagram of ceramic masses

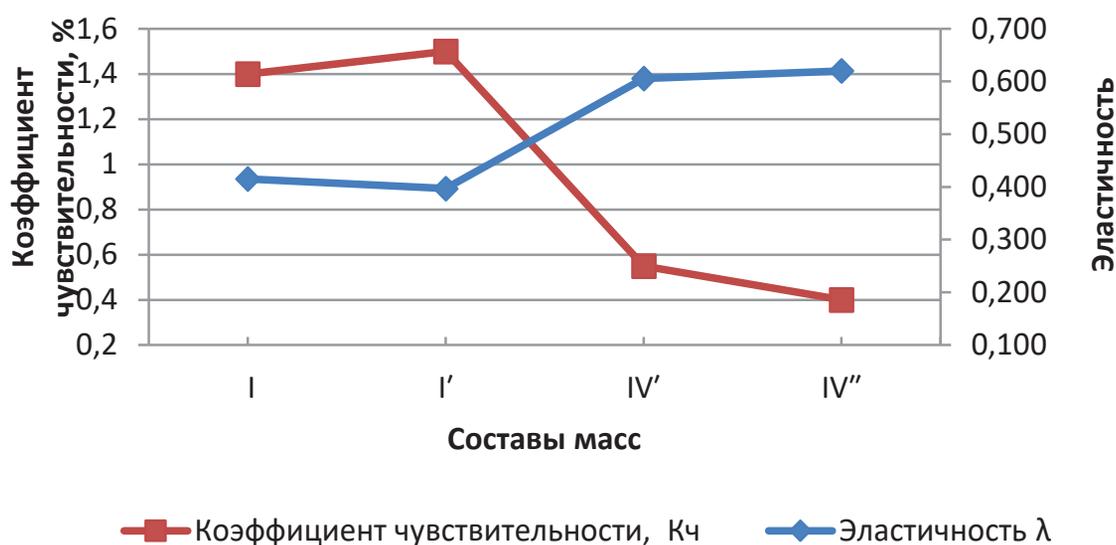


Рисунок 5 – Зависимость между коэффициентом чувствительности  $K_{\text{ч}}$  и эластичностью  $\lambda$

Figure 5 – Dependences between the coefficient of sensitivity and  $\lambda$  elasticity

щающим действием золы, усиливающим развитие медленных эластических деформаций, тем самым увеличив  $\lambda$  керамических масс.

Сопоставление коэффициентов чувствительности  $K_{\text{ч}}$  к сушке с константами и упруго-пластично-вязкими характеристиками указывает на то, что уменьшение  $K_{\text{ч}}$  характеризуется уменьшением  $E_2$ ,  $P_k$ ,  $N_{\varepsilon}$  и увеличением  $\lambda$ . Причем между  $K_{\text{ч}}$  и  $\lambda$  образовалась зависимость  $K_{\text{ч}}(\lambda)$  (рисунок 5), т.е. чем эластичнее масса, тем большие тепловые напряжения она способна воспринимать и компенсировать без нарушения сплошности и тем менее она чувствительна к сушке.

Несмотря на переход в I СМТ, МА золокерамическая масса (IV') приобретает малую  $P_k/\eta_1$  и длительное время истинной релаксации  $\theta$ , а также значительный разброс деформационных долей ухудшает свойства массы, но значительно увеличивается  $\lambda$  и уменьшается мощность на формование.

Керамические массы на основе КА глинозольного сырья (IV'') с 45% добавкой золы и ПАВ 0,1% остаются в I СМТ, но с улучшенными реологическими свойствами: более чем в 2 раза уменьшается  $\theta$  и увеличиваются  $P_k/\eta_1$  и  $\lambda$ . Масса этого состава относится к хорошо формирующимся и изделия на их основе проходят через мундштук за 5–7 сек.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

МА глинистого сырья уменьшает период истинной релаксации и увеличивает число пла-

стичности керамической массы в 1,8–3,4 раза, однако при этом снижается эластичность, увеличивается вязкость и условная мощность на формование, что в целом ухудшает формовочные свойства масс. КА глинозольного сырья уменьшает время истинной релаксации и обеспечивает увеличение эластичности, пластичности керамической массы на 46–47%, уменьшение вязкости в 1,5–2 раза, условной мощности на формование на 37–122% в сравнении с МА суглинка. Керамические массы на основе КА глинозольного сырья относятся к I СМТ с улучшенными реологическими свойствами, изделия на их основе проходят через мундштук на 5–7 сек.

Таким образом, комплексная активация благотворно влияет на реологические свойства глинозольной массы, способствуя образованию более совершенного структурного каркаса. Изделия на основе масс из КА суглинка и 45% золы с последующей обработкой пластификатором обладают хорошими формовочными и сушильными свойствами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лохова Н.А. Влияние добавки золы-унос на физико-технические свойства керамических изделий на основе микрокремнезема и модифицированного жидкого стекла // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 4(16). С. 113–116.
2. Маркова С.В. Применение ПАВ в производстве силикатных материалов // Стекло и керамика. 2013. № 3. С. 20–22.

3. Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г., Васильева М.Н., Таскин В.Ю. Регулирование процессов формирования коагуляционных керамических структур на базе малопластичного сырья // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 6. С. 126.
4. Воробьева В.В., Леонов В.Г. Ресурсо- и энергосбережение в производстве строительной стеновой керамики // *Известия ТулГУ. Естественные науки*. 2014. Вып. 1. Ч. 2. С. 80–88.
5. Ковков И.В., Абдрахимов В.З., Колпаков А.В. Исследование фазового состава керамических материалов на основе алюмосодержащих отходов // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 10. С. 20–29.
6. Абдрахимов А.В., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование структурно-реологических свойств керамических масс для производства черепицы из техногенного сырья // *Известия вузов. Строительство*. 2006. № 8. С. 28–37.
7. Наумов А.А. Устранение высолов на керамическом кирпиче // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 37–40.
8. Крутилин А.А., Акчурин Т.К. Повышение технологичности глинистого сырья для производства эффективных керамических материалов и изделий введением добавок шламовых отходов // *Вестник ВолгГАСУ*. 2010. Вып.19 (38). С. 101–104.
9. Литвинова Т.А. Использование твердых отходов нефтегазовой отрасли в производстве керамических кирпичей // *Научный журнал КубГАУ*. 2013. № 92 (08). С. 15–18.
10. Салахов А.М., Демидов А.А., Фасеева Г.Р., Морозов В.П., Салахова Р.А. Пути снижения энергоемкости производства керамического кирпича // *Вестник Казанского технол. ун-та*. 2015. Т.18. № 4. С. 138–140.
11. Машкин Н.А., Шаравин Ю.А., Каткова Т.Ф. [и др.] Технология и свойства дисперсно-армированного керамического кирпича из пылеватых суглинков // *Известия ВУЗов. Строительство*. 2014. №4. С. 52–63.
12. Vayos G., Hrisi K., Dimitrios P. Stabilization/Solidification of Hazardous Metals from Solid Wastes into Ceramics // *Waste and Biomass Valorization*. July 2017. Volume 8, Issue 5. pp 1863–1874.
13. Стороженко Г.И., Болдырев Г.В., Кузубов В.А. Механохимическая активация сырья как способ повышения эффективности метода полусухого прессования // *Строительные материалы*. 1997. № 8.
14. Стороженко Г.И., Пак Ю.А., Болдырев Г.В. [и др]. Производство керамического кирпича из активированного суглинистого сырья на заводах средней мощности // *Строительные материалы*. 2001. № 12. С. 32–35.
15. Гвоздь В.С. Влияние механоактивизации низкосортного глинистого сырья на качество строительной керамики // *Вестник Сумского национального аграрного у-та*, 2013. № 8. С. 24–30.
16. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья / Е.Г. Аввакумов, А.А. Гусев; Рос.акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т хим. тв. тела и механохимии. Новосибирск: академическое изд-во «Гео», 2009. 155 с.
17. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Карабут Л.А. Установка «Каскад» для кирпичной промышленности // *Строительные материалы*. 2005. №2. С. 20–22.
18. Мавлянов А.С., Сардарбекова Э.К. Спекание керамического материала на основе механоактивированного глинистого сырья // *Вестник Таджикского национ. университета* № 1/4. Душанбе, 2017. С. 70–76.
19. Kumar R. et al. Towards sustainable solutions for fly ash through mechanical activation. Rakesh Kumar, Sanjay Kumar, S.P. Mehrotra. National Metallurgical Laboratory, Council of Scientific and Industrial Research, Jamshedpur 831007, India. *Resources, Conservation and Recycling* 52 (2007) 157–179. <https://www.researchgate.net/publication/223005487>.
20. Kumar R, Kumar S, Hydration of mechanically activated granulated blast furnace slag / *Met Mater Trans* 2005b;36B:4. 73–84.
21. Ильин А.П., Прокофьев В.Ю. Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов: монография. Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2004. 316 с.
22. Kaya C., Butler E. G., Lewis M. H. Co-extrusion of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> biphasе high temperature ceramics with fine scale aligned microstructures // *J. European Ceramic Society*. 2003. Vol. 23, 6. P. 935-942. Chen Z., Ikeda K., Murakami T., Takeda T. Extrusion behavior of metal-ceramic composite pipes in multi-billet extrusion process // *J. Materials Processing Techn.* 2001. Vol. 114, 2. P. 154–160.
23. Телющенко И.Ф., Огородник И.В. Производство лицевого керамического кирпича способом полужесткой экструзии // *Строительные материалы и изделия: электронный журнал Межвузовский сб. научных трудов*. 2007. 296 с. Режим доступа: <http://sbcmi.ru/>.
24. Segal V.M. Slip line solutions, deformation mode and loading history during equal channel

angular extrusion // *Materials Science and Engineering*. 2003. Vol. 345, 1-2. P. 36–46.

25. Liu F.-J., Chou K.-S. Determining critical ceramic powder volume concentration from viscosity measurements // *Ceramics International*. 2000. Vol. 26, 2. P. 159–164.

26. Петров В.П. Исследование реологии керамических паст из зол и шлаков ТЭС // *Строительные материалы и изделия: электронный журнал Межвузовский сб. научных трудов*. 2007. Режим доступа: <http://sbcmi.ru/>.

27. Оразбек Т.О. Влияние технологических факторов на эксплуатационные свойства керамических композиций // *Вестник КТУ им. КоркытАта. Кызылорда*, 2000. С. 86–88.

28. Абдрахимов А.В., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование структурно-реологических свойств керамических масс для производства черепицы из техногенного сырья // *Известия ВУЗов. Строительство*. 2006. №8. С. 28–37.

29. Мавлянов А.С., Сардарбекова Э.К. Влияние совместной механической активации на технологические свойства глинозольных масс // *Известия ВУЗов Кыргызстана. Бишкек*, 2017. №8. С. 10–13.

30. Мавлянов А.С., Сардарбекова Э.К. Влияние механической активации глинистого сырья на гранулометрический состав и технологические свойства керамического материала // *Известия ВУЗов Кыргызстана. Бишкек*, 2017. №3. С. 29–34.

## REFERENCES

1. Lohova N.A. V Vliyaniye dobavki zoly-unos na fiziko-tekhnicheskie svoystva keramicheskikh izdelij na osnove mikrokremnezema i modifitsirovannogo zhidkogo stekla [Effect of fly ash additive on the physical and technical properties of ceramic products based on microsilica and modified liquid glass]. *Sistemy. Metody. Tehnologii*. 2012; 4(16): 113–116 (in Russian).

2. Markova S.V. Primeneniye PAV v proizv odstvesilikatnyhmaterialov [Use of surfactants in the production of silicate materials]. *Steklo i keramika*. 2013; 3: 20–22 (in Russian).

3. Nikiforova E.H.M., Eromasov R.G., Vasil'eva M.N., Taskin V.YU. Regulirovaniye protsessov formirovaniya koagulyatsionnykh keramicheskikhstruktur na baze maloplastichnogo syr'ya [Regulation of processes of formation of coagulative ceramic structures on the basis of low-plastic raw materials]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2011; 6: 126 (in Russian).

4. Vorobeva V.V., Leonov V.G. Resurso- i jenergosberezhenie v proizvodstvestroitel'nojste novojkeramiki [Economy of resources and energy in manufacture of building brick]. *IzvestijaTulGU. Estestvennyenauki*. 2014; Vyp. 1. Ch. 2: 80–88 (in Russian).

5. Kovkov I.V. Abdrahimov V.Z., Kolpakov A.V. Issledovanie fazovogo sostava keramicheskikh materialov na osnove alyumosoderzhashhikh otkhodov [Research of ceramic materials phase structure on the aluminium-containing waste products]. *IzvestijaVUZov. Stroitel'stvo*. 2012; 10: 20–29 (in Russian).

6. Abdrahimov A.V., Abdrahimova E.S., Abdrahimov V.Z. Issledovanie strukturno-reologicheskikh svoystv keramicheskikh mass dlya proizvodstva cherepitsy iz tekhnogennogo syr'ya [Structural and rheological properties of ceramic masses for the production of technogenic raw materials]. *IzvestijaVUZov. Stroitel'stvo*. 2006; 8: 28–37(in Russian).

7. Naumov A.A. Ustraneniye vsolovnakera micheskomkirpiche [Elimination of efflorescence on ceramic brick]. *Stroitel'nyematerialy*. 2016; 5: 37–40 (in Russian).

8. Krutilin A.A., Akchurin T.K. Povysheniye tekhnologichnosti glinistogo syr'ya dlya proizvodstva ehffektivnykh keramicheskikh materialov i izdelij vvvedeniem dobavok shlamovykh otkhodov [Improving the processability of clay raw materials for the production of effective ceramic materials and products by the introduction of the sludge waste additives]. *Vestnik VolgGASU*. 2010; 19 (38): 101–104 (in Russian).

9. Litvinova T.A. Ispol'zovaniye tverdykh otkhodov neftegazovoj otrasli v proizvodstve keramicheskikh kirpichej [How to use solid waste of oil and gas industry in ceramic bricks production]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*. 2013; 92(08): 15–18 (in Russian).

10. Salahov A.M., Demidov A.A., Faseeva G.R., Morozov V.P., Salahova R.A. Puti snizheniya ehnergoemkosti proizvodstva keramicheskogo kirpicha [Ways to reduce the energy intensity of the production of ceramic bricks]. *Vestnik Kazanskogot ehnol. un-ta*. 2015; T.18. №4: 138–140 (in Russian).

11. Mashkin N.A., Sharavin Ju.A., Katkova T.F. Tehnologiya i svoystva dispersno-armirovannogo keramicheskogo kirpicha iz pylevatyh suglinkov [Technology and properties of dispersion-reinforced ceramic brick from dust loam]. *Izvestija VUZov. Stroitel'stvo*. 2014; 4: 52–63 (in Russian).

12. Vayos G., Hrissi K., Dimitrios P. Stabilization/Solidification of Hazardous Metals

from Solid Wastes into Ceramics. Waste and Biomass Valorization. July 2017, Volume 8, Issue 5: 1863–1874.

13. Storozhenko G.I., Boldyrev G.V., Kuzubov V.A. Mekhanokhimicheskaya aktivatsiya syr'ya kak sposob povysheniya ehffektivnosti metoda polusukhogo pressovaniya [Mechanochemical activation of raw materials as a way to improve the effectiveness of the method of semi-dry pressing]. Stroitel'nye materialy. 1997; 8 (in Russian).

14. Storozhenko G.I., Pak Ju.A., Boldyrev G.V. Proizvodstvo keramicheskogo kirpicha iz aktivirovannogo suglinistogo syr'ya na zavodakh srednej moshhnosti [Production of ceramic bricks from activated loamy raw materials in factories of average capacity]. Stroitel'nye materialy. 2001; 12: 32–35 (in Russian).

15. Gvozd' V.S. Vliyanie mekhanoaktivizatsii nizkosortnogo glinistogo syr'ya na kachestvo stroitel'noj keramiki [Effect of mechanical activation of low-grade clay raw materials on the quality of building ceramics]. Vestnik Sumskogo Nacional'nogo Agrarnogo u-ta. 2013; 8: 24–30 (in Russian).

16. Avvakumov E.G. Mehanicheskie metodyakti vacii v pererabot-keprirodnogo i tehnogennogo syr'ja [Mechanical activation methods in the processing of natural and man-made materials]. E.G. Avvakumov, A.A. Gusev; Ros. akad. nauk, Sibirskoeotd-nie, In-t him. tv. tela i mehanohimii. Novosibirsk: Akademicheskoeizdvo "Geo", 2009: 155 (in Russian).

17. Shlegel' I.F. Shaevich G.Ja., Karabut L.A. Ustanovka «Kaskad» dljakirpichnojpromyshlennosti. [Installation "Cascade" for the brick industry]. Stroitel'nye materialy. 2005; 2: 20–22 (in Russian).

18. Mavljanov A.S., Sardarbekova Je.K. Spekanie keramicheskogo materiala na osnove mekhanoaktivirovannogo glinistogo syr'ya [Sintering of ceramic material of mechanically activated clay raw materials]. Vestnik Tadzhijskogo nacion. Universiteta. Dushanbe. 2017; 1/4: 70–76 (in Russian).

19. R. Kumar et al. Towards sustainable solutions for fly ash through mechanical activation. Rakesh Kumar, Sanjay Kumar, S.P. Mehrotra. National Metallurgical Laboratory, Council of Scientific and Industrial Research, Jamshedpur 831007, India. Resources, Conservation and Recycling. 52 (2007) 157–179. <https://www.researchgate.net/publication/223005487>.

20. Kumar R, Kumar S, Hydration of mechanically activated granulated blast furnace slag. Met Mater Trans. 2005; b; 36B: 4: 73–84.

21. Il'in A.P., Prokof'ev V.Ju. Fiziko-

himicheskaja mehanika v tehnologii katalizatorov i sorbentov [Physico-chemical mechanics in the technology of catalysts and sorbents]. 2004: 316 (in Russian).

22. Kaya C., Butler E. G., Lewis M. H. Co-extrusion of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> biphasic high temperature ceramics with fine scale aligned microstructures. J. European Ceramic Society. 2003; Vol. 23, 6: 935–942.

23. Teljushhenko I.F., Ogorodnik I.V. Proizvodstvo licevogo keramicheskogo kirpicha sposobom poluzhestkojj ekstruzii [Production of facial ceramic bricks using semi-rigid extrusion]. Stroitel'nye materialy i izdelija: jelektronnyj zhurnal Mezhvuzovskij sb. Nauchnyh trudov. 2007: 296. Available at: <http://sbcmi.ru/> (in Russian).

24. Segal V.M. Slip line solutions, deformation mode and loading history during equal channel angular extrusion. Materials Science and Engineering. 2003; Vol. 345, 1-2: 36–46.

25. Liu F.J., Chou K.-S. Determining critical ceramic powder volume concentration from viscosity measurements. Ceramics International. 2000; Vol. 26, 2: 159–164.

26. Petrov V.P. Issledovanie reologii keramicheskikh past izzol i shlakovTJeS [Study of the rheology of ceramic pastes from ashes and slags of thermal power plants]. Stroitel'nye materialy i izdelija: jelektronnyj zhurnal Mezhvuzovskij sb. Nauchnyh trudov. 2007. Available at: <http://sbcmi.ru/> (in Russian)

27. Orazbek T.O. Vlijanie tehnologicheskikh faktorov na jekspluatacionnye svojstva keramicheskikh kompozicij [Influence of technological factors on performance properties of ceramic compositions]. Vestnik KTU im. Korkyt Ata. 2000; 1: 86–88 (in Russian).

28. Abdrahimov A.V., Abdrahimova E.S., Abdrahimov V.Z. Issledovanie strukturno-reologicheskikh svojstv keramicheskikh mass dlja proizvodstva cherepicy iz tehnogennogo syr'ja [Investigation of the structural and rheological properties of ceramic masses for production of tile of technogenic raw materials]. Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. 2006; 8: 28–37 (in Russian).

29. Mavljanov A.S., Sardarbekova Je.K. Vlijanie sovместnoj mehanicheskoi aktivatsii na tehnologicheskije svojstva glinozol'nyh mass [Investigation of the effect of joint mechanical activation on technological properties of aluminous masses]. Izvestija VUZov Kyrgyzstana. 2017; 8: 10–13 (in Russian).

30. Mavljanov A.S., Sardarbekova Je.K. Vliyanie mekhanicheskoi aktivatsii glinistogo syr'ya na granulometricheskij sostav i tekhnologicheskije svojstva keramicheskogo

materiala [Influence of mechanical activation of raw materials on granulometric composition and on technological properties of ceramic material]. *Izvestija VUZov Kirgызstana*. 2017; 3: 29–34 (in Russian).

**Поступила 30.03.2019, принята к публикации.**

**Принята к публикации 21.06.2019.**

**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

*Мавлянов Абдырахман Субанкулович – член-корр. НАН КР, д-р техн. наук, проф., президент Бишкекской Финансовой Академии / АДАМ, г. Бишкек, Кыргызстан. ORCID 0000-0003-0998-4707 (720010, г. Бишкек, бул. Молодой Гвардии, 55).*

*Сардарбекова Эльмира Карагуловна – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях» Кыргызско-российского славянского университета. ORCID 0000-0001-8563-0682 (Кыргызская Республика, 720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2А, e-mail: Elmira2507@mail.ru).*

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Abdyrahman S. Mavlyanov – Corresponding Member of the Kyrgyz Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Bishkek Finance and Economic Academy / ADAM, ORCID 0000-0003-0998-4707 (Kyrgyz Republic, 720010, Bishkek, 55 Molodaya Gvardiya Ave., BFEA / ADAM).*

*Elmira K. Sardarbekova – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Emergency Management Department, Kyrgyz-Russian Slavic University, ORCID 0000-0001-8563-0682 (Kyrgyz Republic, 720048, Bishkek, 2A Gorky St., email: Elmira2507@mail.ru).*

#### ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Мавлянов А.С. – Руководство научными и экспериментальными исследованиями. Анализ обзора.*

*Сардарбекова Э.К. – Проведение и анализ экспериментов. Заключение. Оформление статьи.*

#### AUTHORS' CONTRIBUTION

*Abdyrahman S. Mavlyanov – scientific and experimental research; survey analysis.*

*Elmira K. Sardarbekova – experiments' conduction and analysis; writing the conclusion of the paper.*

УДК674.048.001;691.115.674

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АРБОЛИТА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ

А.К. Матыева

Кыргызский государственный университет строительства,  
транспорта и архитектуры им. Н. Исанова,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика  
matyeva59@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Создание энергоресурсосберегающих материалов предусматривает использование местного сырья для получения изделий с улучшенными физико-механическими свойствами. Оптимизация рационального состава и свойств модифицированного арболита из растительно-гипсовой композиции (РГК), модификаторов на новых способах подготовки заполнителя проведена по методу экспериментально-статистического моделирования.

**Материалы и методы.** В работе в качестве растительно-гипсовой композиции (РГК) использовалась солома злаковых, произрастающих в Кыргызской Республике (КР), гипс строительных марок Г-5 и Г-7 на основе местного сырья, зола Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ), портландцементный клинкер ПЦК, природный, натуральный глиногипс (ганч). В качестве глинистой составляющей использовались суглинки Толойконского месторождения.

В качестве модификаторов для образования пористой полимерсиликатной системы использовались: жидкое стекло, латекс СКС, смола малоцентрированная СФЖ-3066 + катализатор ионного типа. Пластифицирующие добавки при изготовлении арболита приняты СКС, СДБ и ЛСТ, в качестве замедлителя схватывания гипса – добавки неполной соли 1-оксиэтилен-1,1-дифосфоновой кислоты с триэтаноломином и антипирены. Испытания проведены согласно стандартным методикам. Для оптимизации состава и свойств полимерсиликатно-гипсовой композиции (ПСГК) был поставлен трехфакторный эксперимент по плану  $B_3$ , где варьировались три рецептурных фактора:  $X_1$  – содержание соломы, %;  $X_2$  – содержание полимерсиликатных добавок (ПСД)+пластификатор, %;  $X_3$  – содержание гипса + портландцементного клинкера (ПЦК)+глиногипса (ГГ), %; остальное – зола.

**Результаты.** Анализ исследований показал, что в 28-суточном возрасте для гипсовых композиций по мере повышения содержания соломы прочность практически не меняется. При сравнении одинаковых образцов 2-часовой и 28-суточной прочности с максимальным наполнением гипса установлено, что при 26% добавки соломы содержание ПСД не должно превышать 12%. Прочность при этом повышается незначительно.

**Обсуждение и заключение.** Максимальная прочность модифицированного арболита достигается при содержании гипса Г-7 – 28–32%, золы – 18–22%, полимерсиликатная композиция (ПСК) – 8–10%. Максимальная величина прочности и водостойкости материала достигается при рациональном соотношении составляющих: солома – 24–28%, гипс Г-7 – 30–32% + замедлители – 0,05%; зола – 18–22%; смола СФЖ-3066 – 8–12% + катализатор – 0,3% (87% серной кислоты, 13% ортофосфорной кислоты); ПЦК – 3–5%; глиногипс (гажа) – 2%; жидкое натриево-стекло 12%; пластификаторы ЛСТ – 0,15%, СКС – 0,2%, СДБ – 0,15%; модифицированный отвердитель М4 – 0,5% и остальное вода.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** модифицированный арболит, растительно-вяжущая композиция, поризованный, полимерсиликатно-гипсовое вяжущее, полимерсиликатные добавки, пластификаторы, катализатор, гипсозолощелочное вяжущее, деформативность.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Автор благодарит рецензентов и членов ред. коллегии за творческий подход по разработке научной статьи.

© А.К. Матыева



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# MANUFACTURE OF MODIFIED ARBOLIT FROM LOCAL RAW MATERIALS: OPTIMIZATION OF COMPOSITION AND PROPERTIES OF RAW MATERIAL COMPONENTS

A.K. Matyeva

Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture  
named after N. Isanov,  
Bishkek, Kyrgyz Republic  
matyeva59@mail.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The creation of energy-saving materials involves the use of local raw materials for products with improved physic-mechanical properties. The author carries optimization of the rational composition and properties of modified arbolite from plant-gypsum composition (PGC). In addition, the author uses modifiers on new ways of preparing the aggregate according to the method of experimental and statistical modeling.

**Materials and methods.** The author used the cereal straw grown in the Kyrgyz Republic (CS), G-5 and G-7 construction gypsum based on local raw materials, ash from the Bishkek Heat and Power Plant (BHPP), portland cement clinker PCC, natural clay (ganch). Moreover, the clay component of the Toloykonsky deposit was used as the clay component. The author also added the liquid glass, latex SCS, the low-concentration resin LCR-3066 + catalyst of ionic type (CIT) as modifiers for the formation of the porous polymer-silicate systems. The paper marked the plasticizing additives in the manufacture of arbolite as SCS, LCR and CIT components. As a retarder the setting of gypsum was added a partial salt 1-hydroxyethylidene-1, 1-diphosphonic acid with triethanolamine and flame retardants. The tests were carried out according to standard methods. To optimize the composition and properties of the polymer-silicate-gypsum composition (PSGC), the author carried out a three-factor experiment according to the B3 plan, where three prescription factors varied: X1 – straw content,%; X2 – content of polymer silicate additives (PSA) + plasticizer,%; X3 – gypsum content + portland cement clinker as a nitroperimethyl phosphoric acid (NPA) and flame gypsum retarder.

**Results.** The research showed that at 28 days of age for cement-free gypsum compositions as the content of straw increased, the strength was almost unchanged. When comparing the strength of the same samples of 2 and 28 days strength with the maximum filling of gypsum, the author defined that the PSA content should not exceed 12% when the straw additive was 26% and further PSA increasing did not increase the strength.

**Discussion and conclusions.** As a result, the author achieves maximum strength of the arbolit, when the content of G-7 gypsum is 28-32%, ash is 18-22% and PSC is 8-10%. The maximum value of strength and water resistance of the material is achieved with a rational ratio of components: straw – 24–28%, G-7 gypsum – 30–32% + NSPL – 0,05%; ash – 18–22%; resin – 3066-8-12% + catalyst – 0,3% (87% sulfuric acid, 13% phosphoric acid); PCC – 3–5%; clay-gypsum (ganch) – 2%; liquid sodium glass – 12%; plasticizers CIT – 0,15%, SCS – 0,2%, LCR – 0,15%; modified hardener – 0,5% and water.

**KEYWORDS:** modified arbolit, plant-astringent composition, porous, polymer-silicate-gypsum binder, polymer-silicate additives, plasticizers, deformability.

**ACKNOWLEDGMENTS.** The author expresses gratitude to the reviewers and members of the editorial team for the creative approach to the research.

© A.K. Matyeva



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

### ВВЕДЕНИЕ

Правительством Кыргызской Республики (КР) поставлена задача большой социально-экономической значимости по созданию энергоресурсосберегающих материалов для строительства из местного сырья с улучшенными гидрофизическими и термодинамическими свойствами. Это обеспечит повышение уровня индустриализации, сокращение сроков строительства и его стоимости за счет импортозамещения аналогичных строительных материалов.

Одним из таких материалов является арболит. Положительные свойства арболита позволили перевести значительную часть домостроения на использование его в качестве ограждающих конструкций.

Применяя отходы деревообработки и сельского хозяйства, можно сократить расход металла и достигнуть существенного удешевления конструкций из арболита по сравнению с другими аналогичными материалами. Так, 1 м<sup>2</sup> традиционных стен дороже на 40%, чем 1 м<sup>2</sup> стены из блоков арболита.

Однако значительная сосредоточенность объектов сельского и поселкового жилищного строительства, необходимость в больших капиталовложениях при строительстве предприятий и высокая суммарная трудоемкость процесса в системе «завод – транспорт – монтаж» сдерживают развитие производства и применение арболитовых изделий заводского изготовления.

Качественно новым этапом повышения технического уровня возведения объектов является малоэтажное домостроение. Оно позволяет ускоренными темпами выполнять задачу улучшения жилья. Применяемые в жилищном строительстве материалы должны соответствовать эксплуатационным и экологическим требованиям и изготовлены по малоэнергоёмкой экономически эффективной технологии с применением местного сырья [1, 2].

Государственным комитетом по архитектуре, строительству и жилищно-коммунальному хозяйству при Правительстве Кыргызской Республики утверждённые «Рекомендации по проектированию и расчету облегченных комбинированных конструкций зданий из местного

композиционного материала» распространяются на конструктивно-теплоизоляционные плиты для сельского, промышленного, гражданского и жилищного строительства, изготавливаемые из отходов деревообработки и растительного сырья и предназначенные для применения в ограждающих комбинированных конструкциях зданий, в т.ч. и для горного села<sup>1</sup>.

Малоэтажное домостроение дает возможность более чем вдвое, по сравнению с кирпичным и крупнопанельным домостроением, снизить единовременные затраты на создание материально-технической базы строительства. По сравнению со стоимостью возведения домов из кирпича стоимость возведения домов из арболита уменьшается на 20–25%, а по сравнению с возведением домов из панелей на 10–12%. Суммарная трудоемкость возведения домов из арболита снижается по сравнению с аналогичной трудоемкостью возведения домов из кирпича вдвое. Обеспечивается также экономия энергетических ресурсов на 25–35%, в арматурной стали – на 7–25%<sup>2</sup> [3].

Дома со стенами из арболитовых блоков выигрывают по сравнению с другими проектными решениями. Эти экспериментальные данные в целом соответствуют действительности и подтверждены соответствующими нормативными документами.

Для изделий из арболита («арбо» – дерево, «лит» – камень) характерны: небольшая плотность ( $\rho \geq 400 \text{ кг/м}^3$ ), повышенные теплоизоляционные свойства и ( $\lambda = 0,06...0,12 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ) и достаточная механическая прочность ( $R_{\text{сж}} = 0,6...4 \text{ МПа}$ ). Он устойчив против гниения, обладает морозостойкостью, пилится и гвоздится, стены из него не сыреют при перепадах температуры и влажности воздуха, хорошо удерживают штукатурку.

Прочность арболита обуславливается следующими основными качественными показателями свойств заполнителя: химическим и гранулометрическим составом золы, а также коэффициентом формы зерен, деформативностью [4]. Требуемые активность и расход вяжущего, а также плотность получаемого арболита при его оптимальной структуре и при оптимальном составе смеси обеспечивают

<sup>1</sup> Курдюмова В.М., Ильченко Л.В., Азығалиев У.Ш. Органоконкомпозиты для стеновых блоков из местного сырья // Межд. сб. науч. тр. Новосибирск. НГАУ. 2011. С. 80–87.

<sup>2</sup> Курдюмова В.М., Ильченко Л.В., Азығалиев У.Ш. Органоконкомпозиты для стеновых блоков из местного сырья // Межд. сб. науч. тр. Новосибирск. НГАУ. 2011. С. 80–87.

необходимую прочность структурных связей между затвердевшим вяжущим и органическим заполнителем. Далее прочность арболита зависит от правильно выбранного режима твердения<sup>3</sup> [5].

Структура арболита близка к структуре крупнопористых легких бетонов на пористых минеральных заполнителях. В отличие от последних прочность арболита зависит от значительно большего количества факторов, а именно: от химической активности заполнителя, его анизотропности, влажностных деформаций и коэффициентов линейного расширения, значительно отличающихся от соответствующих коэффициентов цементного камня.

Взаимодействие заполнителя из древесины щепы и цемента исследуется давно и многими учеными<sup>4</sup> [6].

К веществам, оказывающим отрицательное воздействие, относятся: сахара, кислоты, дубильные вещества, камеди, фенолы и хиноны. Целлюлоза и лигнин вредного влияния на процесс гидратации цемента практически не оказывают.

Водорастворимые частицы органических заполнителей отрицательно влияют на процессы гидратации и твердения цемента. Результаты всех приведенных выше исследований показывают необходимость локализации экстрактивных частиц на гидратацию и твердение минерального вяжущего, чтобы в результате получить качественный конгломератный материал.

Следовательно, для локализации содержащихся в органическом заполнителе экстрактивных веществ требуется применять различные методы. В большинстве своем способы экстрагирования растворимых веществ из заполнителя предусматривают достаточно сложные технологические процессы, требующие многоступенчатой обработки заполнителя различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушкой и т.д.

Распространенным методом обработки заполнителя является длительное выдерживание в воде при температурах 18–20°C. Это

увеличивает прочность арболита на 12–15% по сравнению с необработанным заполнителем. Однако в процессе вымачивания извлекаются только легкорастворимые вещества, но остаются полисахариды, продолжающие тормозить твердение цемента. Обработка горячей водой несколько усложняет технологию обработки.

Необходимо отметить, что степень отрицательного воздействия влажностных деформаций органического заполнителя на прочность арболита в большей мере определяется показателями сцепления двух различных по своей природе материалов, в связи с этим изучение влияния данных факторов целесообразно во взаимосвязи [7, 8].

В Кызылординском государственном университете им. Коркыт ата были проведены экспериментальные работы по обработке заполнителя щелочной водой с добавлением извести в количестве 1–1,5%. При этом происходит химическое модифицирование поверхности заполнителя – рисовой лузги, стеблей хлопчатника – за счет химической реакции щелочной среды с гидроксильными группами целлюлозы. Предложенный способ приготовления арболитовой смеси позволяет повысить адгезию заполнителя с золоцементными вяжущими и в последующем прочность конечных изделий. В качестве вяжущего использованы портландцемент ЦЕМ I, портландцементный клинкер кл. 95-100 и золошлаковые смеси. Освоение производства строительных материалов на основе этих сырьевых ресурсов является эффективным не только с экологической, но и с экономической точки зрения [9].

С целью оптимизации технологических параметров производства арболита было проведено математическое планирование экспериментальных работ, исследовано влияние способа подготовки органического заполнителя на прочность при 28-суточном твердении арболита.

В качестве параметра оптимизации была принята прочность арболита. Количество воды и химических добавок, а также режим облагораживания органического заполнителя приняты постоянными. При этом исследовалось, как

<sup>3</sup> Орешкин Д.В., Лукутцова, Н.П., Горностаева, Е.Ю. Повышение качества древесно-цементных композиций добавками // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 67-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2009 года : сб. науч. тр. Самара. 2010. С.276–278.

<sup>4</sup> Галебуй С. Теоретические основы механизма формирования прочности и разрушения поризованного арболита на стеблях хлопчатника // Итоги строительной науки: материалы VI Межд. НПК 26–28 окт. г. Владимир : ВИТ-принт, 2010. С. 28–32. ISBN 978-5-9902312-5-2.

влияет содержание варьирующих факторов на прочность арболита. Для экспериментов в качестве вяжущего был применен портландцемент ЦЕМ I, портландцементный клинкер кл. 95–100 [10], также автором работы<sup>5</sup> выполнено экспериментальное исследование по оптимизации составов композиционных гипсовых вяжущих веществ с использованием тонкоизмельченных зол гидроудаления.

В работах<sup>6</sup> [11] раскрыты вопросы разработки составов и проведено исследование свойств цементно-золяно-шламового легкого арболита с использованием твердых органических отходов из измельченной скорлупы грецкого ореха. Были исследованы процессы взаимодействия и образования фазового состава комплексных вяжущих композиций с золошламовыми добавками методом рентгенофазового анализа.

В работе также произведен анализ химического состава и химической агрессивности растительного заполнителя по отношению к минеральному сырью. Скорлупа грецкого ореха состоит из клетчатки (примерно 69% всей массы скорлупы грецкого ореха – стебли), пектозана, водорастворимых веществ и небольшого количества экстрактивных веществ – танинов и жиров. В большинстве своем предложенные способы «минерализации» органического заполнителя требуют многоступенчатой обработки заполнителя различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушки и др. В данной работе «минерализаторами» заполнителя органического происхождения служат высококальциевая зола-унос и бокситовый шлам. При взаимодействии находящихся в составе золы-уноса (9%) и бокситового шлама (до 5%) оксида кальция СаО с водой затворения образуется гидроксид кальция. Полученный водный раствор характеризуется щелочной реакцией, позволяющей использовать его в качестве минерализатора органического заполнителя.

В Брянской государственной инженерно-технологической академии<sup>7</sup> при изучении механизма влияния добавок, содержащих микро- и наноразмерные частицы кремнезема, на структуру и физико-технические свойства древесно-цементных композиций установлено, что за счет гидравлической активности микро- и нано-дисперсного кремнезема в структуре цементной матрицы происходит интенсивное образование гидросиликатов кальция.

Доказано, что комплексное использование добавок с микро- и наноразмерными частицами кремнезема позволяет повысить предел прочности при сжатии на 98% и снизить водопоглощение на 50–60% при экономии цемента до 50%. Определены оптимальные составы древесно-цементных композиций, позволяющие получать материалы с улучшенными физико-техническими характеристиками: предел прочности при сжатии – до 15,0 МПа, средняя плотность 630 кг/м<sup>3</sup> и водопоглощение – 52,3%.

Разработана технология производства стеновых блоков на основе древесно-цементной композиции с использованием комплексных добавок, таких как микрокремнезем и добавки с наноразмерными частицами кремнезема<sup>8</sup> [12].

Получение арболита с улучшенными теплотехническими показателями на основе органоминеральной композиции, не восприимчивыми к экстрактивным частицам заполнителей комбинированной пористой структурой материала при минимальном расходе вяжущего, является весьма актуальным. Введение пористых минеральных или органических пластифицирующих добавок обеспечивает снижение коэффициента теплопроводности арболита и его массы, а также повышает деформативность его, снижая демпферный эффект [13, 14].

Известно, что влажность гипсового камня в арболите находится в пределах 7,5–12%, а сечки соломы 13,5–28%. Полимеры и пластификаторы, затвердевшие в поровом простран-

---

<sup>5</sup> Ассакунова Б.Т. Джусупова М.А., Болотов Т.Т., Омурбеков И.К., Абышев А.А. Оптимизация составов композиционных гипсовых вяжущих веществ с использованием тонкоизмельченных зол гидроудаления // Инновации в области применения строительного гипса: сборник тезисов докладов. МИСИ, Москва, 2012. С. 3–7.

<sup>6</sup> Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Джумабаев М.Д., Сартова А.М. Исследование свойств щелочного вяжущего на основе высококальциевой золы-уноса // Информационная среда вуза : материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. Иваново : ИГАСУ, 2013. С. 219–221.

<sup>7</sup> Горностаева Е.Ю. Использование микрокремнезема для улучшения физико-технических показателей древесно-цементных композиций // Молодежь и научнотехнический прогресс / под общей редакцией Е.А. Памфилова. Сборник трудов по итогам молодежной научно-технической конференции. Выпуск 1. Брянск : БГИТА, 2010. С. 191–193.

<sup>8</sup> Там же.

стве композиции и контактной зоне, создают дополнительный пространственный каркас [15]. Прочность полимеров на сжатие 1,2–1,6 МПа позволяет воспринимать часть усадочных напряжений. Этим объясняется повышенная стойкость арболита к атмосферным воздействиям, главными факторами которых являются напряжения усушки-набухания<sup>9</sup> [16].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе в качестве растительно-гипсовой композиции (РГК) использовались солома злаковых, произрастающих в КР, и гипс строительный.

По природному происхождению, морфологической структуре и химическому составу стебли соломы зерновых близки к древесине. Солома пшеницы (*Triticum aestivum*) для производства арболита имеет повышенную прочность по сравнению с другими злаковыми (ячмень, овес, рис и др.), так как содержит в 2 раза меньше воска и кремнезема.

Технические свойства соломы пшеницы с размером частиц по длине 20–50 мм следующие: прочность при растяжении 316,2 Н/мм<sup>2</sup>, процент удлинения 2,41%, средняя сухая насыпная плотность 50–60 кг/м<sup>3</sup>. В заполнителе на основе соломы не допускается присутствие гигроскопической влажности 80%, гнили, кусков грунта, плесени от уборки. По объемам производства в КР, физико-механическим свойствам солома пшеницы является подходящим сырьем для производства строительного арболита.

В исследованиях в качестве минерального вяжущего был использован быстротвердеющий строительный гипс марок Г-5 и Г-7 на основе сырья Бактерекского месторождения, который относится к сырью I-го сорта, гипсового предприятия с. Кулан-Ак Нарынской области. Начало схватывания – 6 минут, конец – 14 минут. Предел прочности на сжатие 7 МПа, на изгиб 3,5 МПа и зола БТЭЦ, а также портландцементный клинкер (ПЦК), природный, натуральный глиногипс (ГГ). В качестве глинистой составляющей использовались суглинки Толуйконского месторождения.

В качестве модификаторов для образования пористой полимерсиликатной системы использовались: жидкое стекло (ГОСТ 13078), латекс СКС (ГОСТ 10564); смола малоконцентрированная СФЖ-3066 (ГОСТ 20907) + моди-

фицированный отвердитель М4 (ГОСТ18188); катализатор ионного типа (ГОСТ 20908). Пластифицирующие добавки при изготовлении арболита приняты СКС, СДБ и ЛСТ, в качестве замедлителя схватывания гипса – добавки неполной соли 1-оксиэтилиден-1,1-дифосфоновой кислоты с триэтаноламином и антипирены. Все компоненты исследовались в лаборатории на соответствие нормативным требованиям.

Для выявления наиболее эффективных способов взаимодействия и образования фазового состава гипсозольных вяжущих, нами были проведены электронно-микроскопические исследования пробы чистой золы и проб, активированных гипсом, ПЦК, ГГ и их изломов в присутствии щелочного компонента.

В производстве золощелочных вяжущих одним из основных структурообразующих компонентов является щелочной компонент. Золо БТЭЦ при содержании несгоревшего угля от 5 до 11% по массе и значительным количеством  $A_{12}O_3$  (20...26%), умеренно железистые (около 7%  $Fe_2O_3$ ) по своему химическому составу хорошо активизируются при совместном воздействии вяжущих и сульфатного компонента, что подтверждается электронно-микроскопическими исследованиями [16].

Физические и механические свойства арболита определялись на образцах-кубах размером 15x15x15 см и 10x10x10 см. При проведении испытаний использовали разрывные машины МР-05-1, пресс испытательный гидравлический малогабаритный ПГМ-1500МГ4, прибор ультразвуковой УК-15М, ПЛС-100, ДРОН-2, лазерный анализатор ЛГ-78, вискозиметр Суттарда ВС для определения вязкости гипсового теста по ГОСТ 23789, прибор Вика с 8-ю ячейками измерения для автоматического определения характеристик схватывания гипса.

Для приготовления комплексного вяжущего и арболитной смеси была использована водопроводная питьевая вода. Характеристики органических заполнителей приведены в таблице 1. Оптимизация рационального состава и свойств модифицированного арболита из РГК, модификаторов на новых способах подготовки заполнителя проведена по методу экспериментально-статистического моделирования [17].

<sup>9</sup> Мавлянов А.С., Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т. Комплексное использование минерального сырья. Илим – Бишкек, 2016. 326 с.

## РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 1  
Сравнительные данные химического состава органических заполнителей

Table 1  
Comparative data of the chemical contents of the organic aggregates

Органические заполнители	Химический состав, %				
	целлюлоза $C_6H_{10}O_5$	лигнин $C_4P_{10}O_{16}$	пентазон $C_5H_8O_4$	ппп	зола
Солома злаковых	50	12	20	18	1,7
Древесные отходы	41,7	21,91	16,3	-	2,8

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оптимизации состава и свойств полимерсиликатно-гипсовой композиции (ПСГК) был поставлен трехфакторный эксперимент по плану  $B_3$ , где варьировались три рецептурных фактора:  $X_1$  – содержание соломы, %;  $X_2$  – содержание ПСД+пластификатор, %;  $X_3$  – содержание гипса +ПЦ-К+ГГ, %; остальное – зола. Уровни варьирования факторов представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Уровни варьирования факторов

Table 2  
Levels of the variation factors

Уровни факторов	$X_1$ – солома, %	$X_2$ – ПСД + пластификатор, %	$X_3$ – гипс+ ПЦК+ глиногипс, %
-1	22	10	25
0	24	11	30
+1	26	12	35

По результатам эксперимента (таблица 3) были рассчитаны коэффициенты моделей свойств растительно-вяжущей композиции (РВК):  $Y_1$  – значение pH;  $Y_2$  – прочность на сжатие после 2 ч;  $Y_3$  – прочность на сжатие после 28 суток.

Анализ модели 2 показал, что фактор ( $X_1$  – солома) снижает прочность на сжатие ( $v_1 = -1,01$ ), ПСД+пластификатор  $X_2$  повышает прочность на сжатие, но только на 12% (рисунок 1).

В 28-суточном возрасте для гипсовых композиций по мере повышения содержания соломы прочность снижается на 0,8 МПа.

Таблица 3  
План и результаты  $Y_1, Y_2, Y_3$

Table 3  
Plan and results of  $Y_1, Y_2, Y_3$

№ п/п	План эксперимента			План в натур. переменных, %			$Y_1$ -рН	$Y_2$ , МПа	$Y_3$ , МПа
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	С	ПСД	Г+ПЦК+ГГ			
1	+	+	+	26	12	35	11,4	0,6,	2,0
2	+	+	-	26	12	25	10,8	0,9,	2,7
3	+	-	+	26	10	35	11,1	0,7,	2,3
4	-	+	+	22	12	35	10,6	0,7	2,1
5	-	-	-	22	10	25	10,3	0,8	2,4
6	-	-	+	22	10	35	10,4	0,6	2,2
7	-	+	-	22	12	25	10,9	0,9	2,8
8	+	-	-	26	10	25	10,7	0,7	2,4
9	+	0	0	26	11	30	11,5	0,8	2,7
10	-	0	0	22	11	30	11,1	0,8	2,7

11	0	+	0	24	12	30	10,9	0,8	2,7
12	0	-	0	24	10	30	10,5	0,7	2,6
13	0	0	+	24	11	35	10,8	0,7	2,2
14	0	0	-	24	11	25	10,3	0,8	2,6
15	0	0	0	24	11	30	10,9	0,8	2,7

\* Содержание ПЦК и ГГ в составе минерального вяжущего 3–5%.

Добавка полимерсиликатных добавок (ПСД) ( см. рисунок 1) с 26%-ным содержанием соломы практически не влияет на прочность.

По результатам эксперимента с указанием средней ошибки  $S_y$  и уровня значимости  $\alpha$  были рассчитаны (по программе МНК) математическая модель  $Y_1$  – значение pH со всеми значимыми оценками коэффициентов:

$$(Y_1)pH = 10,89 + 0,23X_1 + 0,42X_1^2 - 0,05X_1 \cdot X_2 + 0,08X_1 \cdot X_3 + 0,22X_2 - 0,15X_2^2 - 0,06X_2 \cdot X_3 - 0,16X_3 - 0,31X_3^2. \quad (1)$$

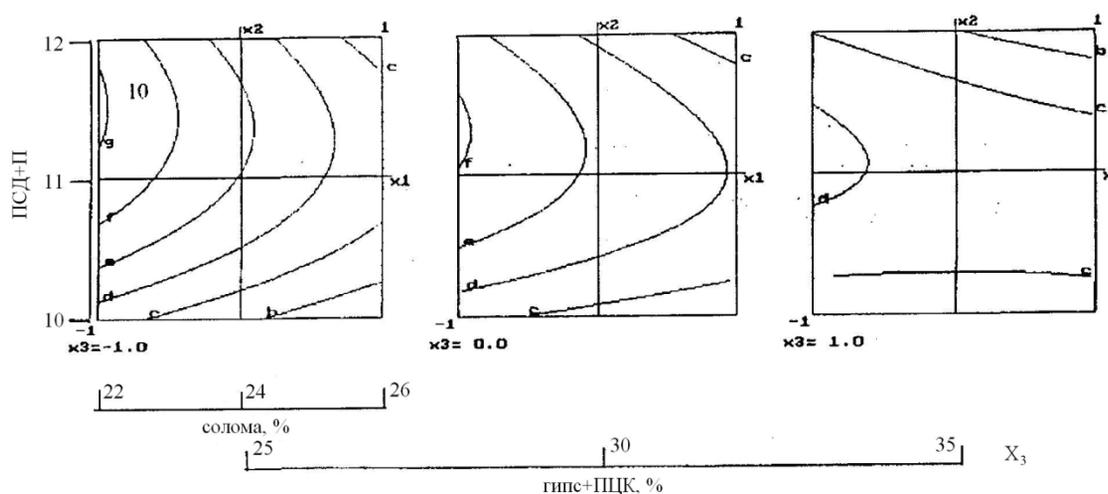
Математическая модель (1) показывает, что факторы  $X_2$  (ПСД+пластификатор),  $X_3$  (гипс+ПЦК) оказывают влияние на pH и увеличивают этот показатель от 10,3 до 11. Однако содержание  $X_3$  должно быть оптимальным, на это указывает квадратичный эффект  $v_{22} = -0,31$ . pH среды повышается до 11,4 при одновременном повышении добавки  $X_2$  и содержанием  $X_3$ .

Таким образом, максимальная прочность РВК достигается при содержании: гипс – 29–30%, ПЦК – 3–5%, ГГ – 2%; ПСД + пластификатор (смола СФЖ + жидкое стекло + ЛСТ + СКС) – 10–12%, солома – в пределах 22–26%, зола – 19–20%, остальное – вода.

$$Y_2(R_{сж}^2) = 7,687 - 1,01X_1 + 0,092X_1^2 - 0,486X_1 \cdot X_2 + 0,649X_1 \cdot X_3 + 0,529X_2 - 1,603X_2^2 - 0,615X_2 \cdot X_3 - 0,600X_3 - 0,510X_3^2. \quad (2)$$

$$Y_3(R_{сж}^{28}) = 9,148 - 1,330X_1 + 1,620X_1^2 - 0,527X_1 \cdot X_2 + 0,67X_1 \cdot X_3 - 0,769X_2 - 1,404X_2^2 - 0,57X_2 \cdot X_3 - 0,58X_3 - 0,550X_3^2. \quad (3)$$

1



2

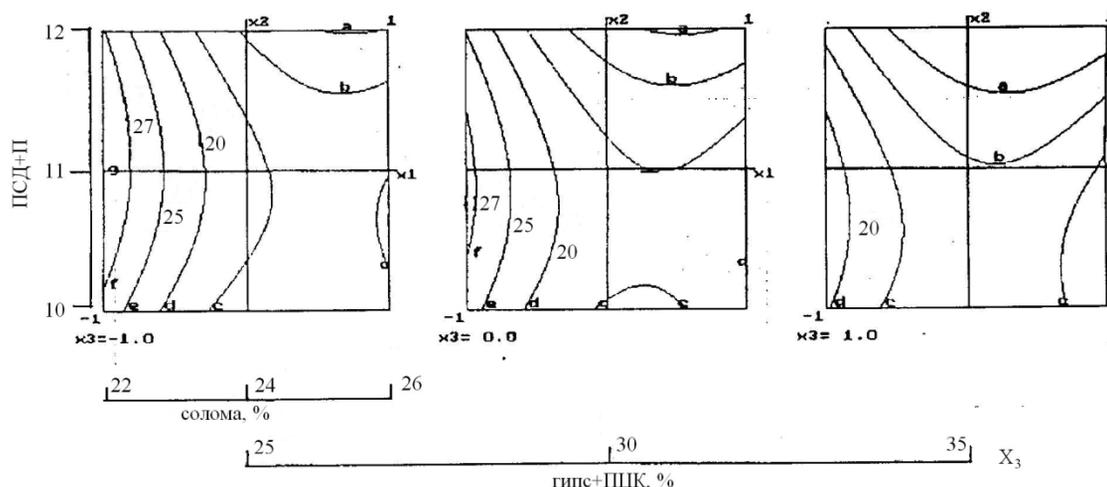


Рисунок 1 – Математические модели прочности на сжатие растительно-вяжущей композиции: 1–2-часового возраста; 2–28-суточного возраста

Figure 1 – Numerical models of the compressive strength of plant-astringent composition: 1 – 2-hour age; 2 – 28-days age

Для наглядности были построены диаграммы влияния составов смесей, физико-механические и химические характеристики гипсозолощелочных вяжущих (рисунок 2). Составы смесей (по массе, %) приведены в таблице 4.

Таблица 4  
Состав смеси по массе, %

Table 4  
Mixture composition by weight, %

№ состава	Состав смеси по массе, %			
	гипс	зола	Модификаторы смеси (МС)	ПЦК/ГГ
1	35	20	10	4/2
2	35	20	11	5/1
3	30	20	12	5/1
4	30	19	12,5	5/1
5	29	19	12,8	5/2
6	29	20	12	5/2

На протекание обменно-поглодительных реакций в системе «гипс–зола–вода» оказывает влияние pH среды. Известно, что с повышением показателя pH водного раствора до 10–12 создаются благоприятные условия для протекания ионного обмена между тонкодисперсными частицами компонента и положительно заряженными ионами, находящимися в водном растворе.

Влияние модификаторов смеси (МС) на pH водной вытяжки золощелочной смеси и на прочность золосодержащего вяжущего приведены на рисунках 3 и 4.

Достаточно высокая активность разработанных вяжущих с модификаторами и пластификаторами обеспечивается в результате интенсификации ионно-обменных процессов, происходящих в процессе твердения гипсозолощелочных вяжущих.

В композицию гипсозолощелочных вяжущих, введены полимерсиликатные системы и пластифицирующие добавки, которые обеспечивают высокую активность вяжущих в процессе твердения и создают атмосферостойкий эффект арболита.

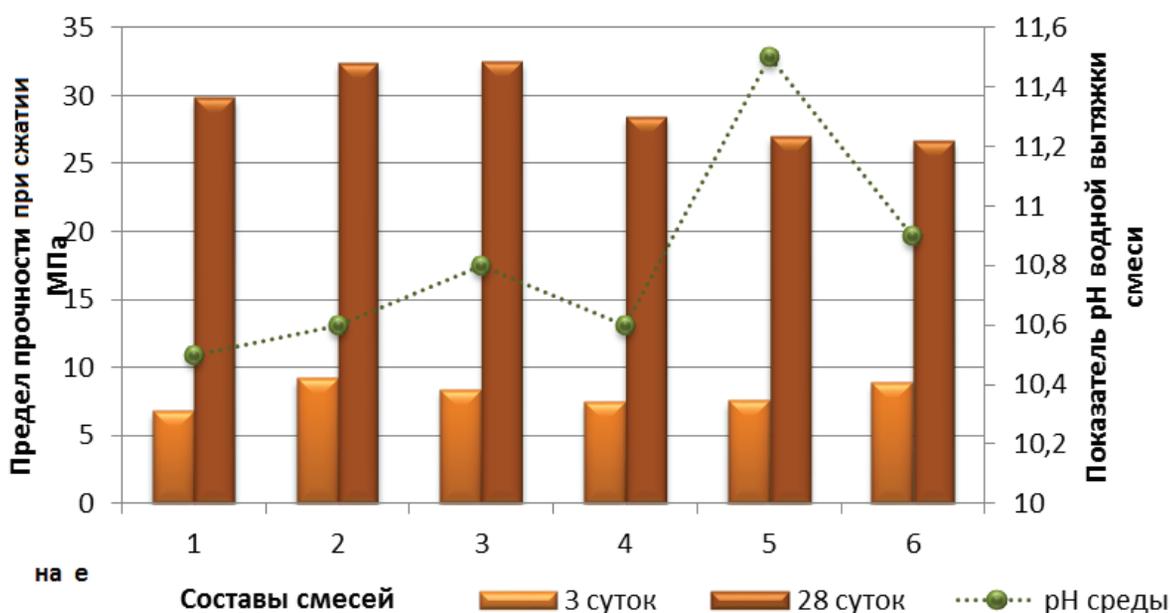


Рисунок 2 – Влияние составов смесей на pH водной вытяжки золощелочной смеси и изменение прочности золосодержащего вяжущего

Figure 2 – Influence of mixture composition on the pH aqueous extract ash content binder and on changing of the ash-containing binder strength

Кроме того, наличие в составе гипсозолощелочных вяжущих полимерной смолы СФЖ-3066 повышает адгезионную прочность вяжущих при использовании органических за-

полнителей растительного происхождения и они могут быть названы гипсозолощелочными вяжущими с синергетическим эффектом составляющих смеси.

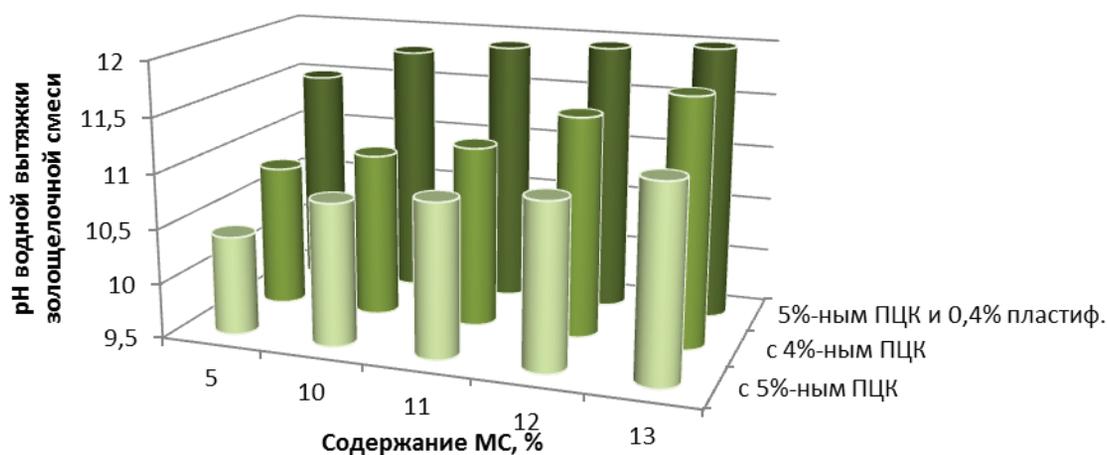


Рисунок 3 – Влияние добавки МС на pH водной вытяжки золощелочной смеси

Figure 3 – Influence of MC additive on pH aqueous extract of the ash content binder

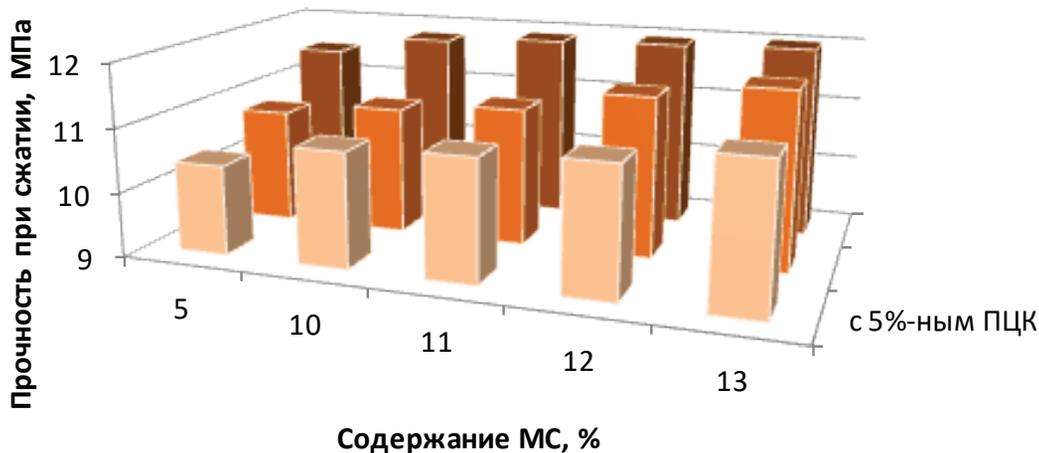


Рисунок 4 – Влияние добавки МС на прочность золосодержащего вяжущего

Figure 4 – Influence of MC additive on the ash content binder's strength

Производство гипсозолощелочных вяжущих может быть организовано в отдаленных регионах, куда доставка портландцемента связана с повышенными транспортными расходами.

К важнейшим характеристикам, обуславливающим свойства композитов на их основе, относятся сроки схватывания и изменение прочности во времени в различных условиях

твердения, т.е. интенсивность процессов гидратации.

Определялись сроки схватывания гипсозолощелочных вяжущих при содержании различного количества модификаторов смеси. Нормальная густота (НГ) составляет 28...32%. Составы смесей приведены в таблице 5. Результаты исследований приведены на рисунке 5.

Таблица 5  
Составы смесей

Table 5  
Mixture composition (ratio)

№ сост.	Состав смеси по массе, %		
	гипс+зола	МС	ПЦК/ГГ
1	55	10	5,0/1
2	56	11	4,0/2
3	50	12	5,0/1
4	50	12,5	4,0/2
5	49	12,8	5,0/2
6	49	10,5	5,0/1
7	50	12	4,0/2

Вяжущие композиции с содержанием 5% ПЦК обладают сроками схватывания, приближенными к срокам схватывания портландцемента (начало схватывания 1 час 05 минут, конец – 2 часа 45 минут). При содержании модификатора смеси до 12,5% конец схватыва-

ния гипсозолощелочного вяжущего изменяется равномерно.

Таким образом, изменение прочности во времени разработанных вяжущих композиций зависит от их состава, условий обработки и последующего твердения. Изменение прочно-

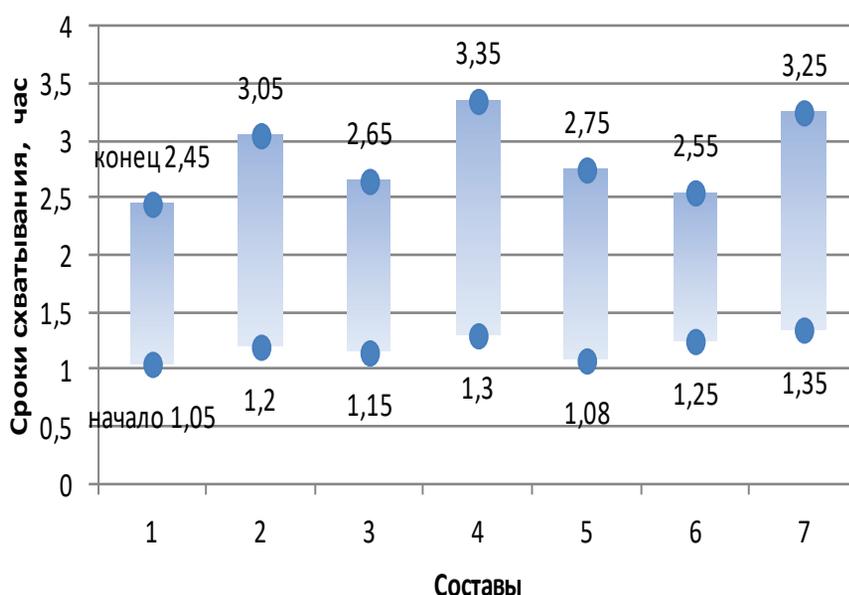


Рисунок 5 – Сроки схватывания гипсозолощелочных вяжущих композиций (среднестатистические данные)

Figure 5 – Setting time for the gypsum-ash-alkaline binder compositions (average data)

сти вяжущих естественного твердения определялось на образцах, хранившихся длительное время в нормальных условиях, а образцы, подвергавшиеся тепловлажностной обработке, – в воздушно-сухих и водных условиях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кинетика изменения прочности вяжущих с содержанием 11–12% МС показывает, что при длительном хранении прочность образцов повышается как после тепловлажностной обработки, так и при нормальном воздушном твердении. Образцы при воздушном хранении имеют прочность более 3,2 МПа, а при водном хранении 2,6–2,7 МПа. Активация РВК высокоосновными добавками и полимерсиликатным компонентом с пластификаторами (ЛСТ, СКС, СДБ) на основе гипса и малоизвестных зол способствует образованию прочного сростка и получению на их основе гипсозолощелочных вяжущих с повышенными физико-механическими свойствами.

Максимальная прочность полимерсиликатно-гипсозолощелочной композиции в арболите достигается при содержании гипса Г-7 – 28–32%; золы – 18–22%; ПСД – 8–10%. Максимальная величина прочности и водостойкости материала достигается при рациональном соотношении составляющих: солома

– 24–28%; гипс Г-7 – 30–32% + замедлители – 0,05%; зола – 18–22%; смола СФЖ-3066 – 8–12% + катализатор – 0,3% (87% серной кислоты, 13% ортофосфорной кислоты); ПЦК – 3–5%; глиногипс – 2%; жидкое натриевое стекло – 12%; пластификаторы ЛСТ – 0,15%; СКС – 0,2%; СДБ – 0,15%; модифицированный отвердитель М4 – 0,5% и остальное – вода.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матыева А.К. Анализ методологии проектирования энергоэффективных зданий // EUROPAISCHE FACHHOCHSCHULE. ORT Publishing, Shtuttgart, Germany. EUROPEAN APPLIED SCIENCES #2. 2016. С. 54–58.
2. Абыкаева А.К., Омурбеков И.К., Абышов А.А. Мелкоштучные изделия из глиногипсовых материалов с органическим наполнителем // Научный и информационный журнал «Материаловедение». Бишкек, 2013. Вып. 1. С. 96–99.
3. Matyeva A.K. Analysis methodology of projection energy- efficient buildings // European Applied Sciences. 2016. № 2. С. 54–58.
4. Матыева А.К. Строительно-технические свойства атмосферостойкого арболита // Приволжский научный вестник – ИЦНП, Приволжский. 2016. С. 40–42.
5. Matyeva A.K. The state of the pressed

visco-plastic medium of plant-gypsum composition (pgc) under flat deformation conditions // International Scientific and Practical Conference "World Science", ROST, Dubai, UAE. №2(6), Vol.1, February 2016. С. 75-81.

6. Kobuliev Z.V., Nazriev G.B. About Agricultural Solid Waste Using in Construction // Ecological Journal of Armenia. 2013. P. 126–128.

7. Столбушкин А.Ю., Бердов Г.И. Ресурсосберегающая комплексная переработка минерального техногенного сырья в производстве строительных материалов // Известия ВУЗов. Строительство. Новосибирск: НГАСУ, 2011. № 1. С. 46–53.

8. Лукутцова Н.П., Горностаева Е.Ю. Получение древесно-цементных композиций с улучшенными физико-техническими показателями // Вестник БГТУ им.В.Г.Шухова. Белгород. 2010. № 4. С. 44–46.

9. Удербаяев С.С., Карибаяев Е., Курманаяева Ж.М. Исследование адгезии рисовой лужги с золоцементными вяжущими смесями // Научный журнал «Молодой ученый». 2014. № 12(71). С. 113–115.

10. Удербаяев С.С., Бисенов К.А., Алибеков Н.Б. Оптимизация способа подготовки органического заполнителя в производстве арболитовых изделий // Вестник национальной академии наук Казахстан / Кызылординский государственный университет им. Коркыт ата. 2017. № 4. С. 109–115.

11. Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Джумабаяев М.Д., Сартова А.М. Разработка и исследование свойств вяжущих на основе отходов промышленности // Вестник Российской академии архитектурно-строительных наук. Курск; Воронеж, 2013. С. 256–260.

12. Lukutsova N., Gornostaeva E. Influence of micro- and nanodispersed additions on qualities of wood-and cement compositions // SITA journal Israel, 2012. № 3. v. 14. P. 70–75.

13. Курдюмова В.М., Азыгалиев У.Ш., Ильченко Л.В. Строительные органополимеркомпозиты (ОПК) на основе сложного наполнителя из местного сырья // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2017. Т. 17, № 1. С. 137–141.

14. Мавлянов А.С., Абышов А.А. Определение фазового состава вяжущих из местных гипсосодержащих пород // Вестник КГУСТА. Бишкек, 2012. № 3. С. 38–41.

15. Шешуков А.П., Лычагин Д.В., Макаров Е.Я. Исследование процессов формирования структуры арболита при химической активации древесины // Вестник ТГАСУ. 2014. № 3. С. 145–152.

16. Matyeva A. K. The research of the wether resistant gypsum- ash- alkaline arbolit structure by scanning electron microscopy // Proceeding of the II International Scientific and Practical Conference «The goals of the WorldScience №3(7), Vol.1, March 2016 (February 25–26, 2016, Dubai, UAE)». P. 98–102.

17. Матыева А.К. Математическое моделирование по оптимизации состава и свойств арболита на полимерсиликатно-гипсовой композиции (ПСГК) // Информационные технологии в образовании: состояние, проблемы и перспективы: Междунар. научн.-практ. конф. Вестник КГУСТА. 2011. №2 (32). Т. 1. Бишкек. С. 138–141.

## REFERENCES

1. Matyeva A.K. Analysis methodology of projection energy- efficient buildings. EUROPAISCHE FACHHOCHSCHULE. ORT Publishing, Shtuttgart, Germany. EUROPEAN APPLIED SCIENCES, 2016; 2: 54–58.

2. Abykaeva A.K., Omurbekov I.K., Abyshov A.A. Melkoshtuchnye izdelija iz glinogipsovyh materialov s organicheskim napolnitelem [Small size products from claim content gypsum and organic fillers]. Nauchnyj i informacionnyj zhurnal Materialovedenie. 2013; 1: 96–99 (in Russian).

3. Matyeva A.K. Analysis methodology of projection energy- efficient buildings. European Applied Sciences 2016; 2: 54–58.

4. Matyeva A.K. Stroitel'no-tehnicheskie svojstva atmosferostojkogo arbolita [Construction and technical properties of the atmosphere resistance arbolit]. Privolzhskij nauchnyj vestnik – ICNP, Privolzhskij, 2016, pp. 40–42 (in Russian).

5. Matyeva A.K. The state of the pressed visco-plastic medium of plant-gypsum composition (pgc) under flat deformation conditions. International Scientific and Practical Conference "World Science", ROST, Dubai, UAE. no 2(6), Vol.1, February 2016:75–81.

6. Kobuliev Z.V., Nazriev G.B. About Agricultural Solid Waste Using in Construction. Ecological Journal of Armenia. 2013; 1 /3/: 126–128.

7. Stolbushkin A.Ju., Berdov G.I. Resursosberegajushhaja kompleksnaja pererabotka mineral'nogo tehnogenogo syr'ja v proizvodstve stroitel'nyh materialov [Resource-saving schemes of complex processing of mineral technogenic raw material in building materials manufacture]. Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. Novosibirsk: NGA-SU, 2011; 1: 46–53.

8. Lukutsova N.P., Gornostaeva E.Ju. Poluchenie drevesno cementnyh kompozicij s uluchshennymi fiziko-tehnicheskimi pokazateljami

[Obtain the timber-cement compositions with improved physic-technical characteristics]. Vestnik BGTUim.V.G .Shuhova. 2010; 4: 44–46 (in Russian).

9. Uderbaev S.S. Karibaev E., Kurmanaeva Zh.M. Issledovanie adgezii risovoj luzgi s zolocementnymi vjazhushhimi smesjami [Research of adhesion of rice husk and ash-cement binder mixtures]. Nauchnyj zhurnal Molodoy uchenyj. 2014; 12(71):113–115 (in Russian).

10. Uderbaev S.S., Bisenov K.A., Alibekov N.B. Optimizacija sposoba podgotovki organicheskogo zapolnitelja v proizvodstve arbolitovyh idelij [Optimization of preparation methods for organic fillers in manufacturing the arbolit goods]. Kyzylordinskij gosudarstvennyj universitet im. Korkyt ata, Vestnik nacional'noj akademii nauk Kazahstan. 2017; 4/368: 109–115 (in Russian).

11. Akulova M.V., Isakulov B.R., Dzhumabaev M.D., Sartova A. M. Razrabotka i issledovanie svojstv vjazhushhih na osnove othodov promyshlennosti [Developing and research the binder properties on the industry waste base]. Vestnik Rossijskoj akademij arhitekturno stroitel'nyh nauk. 2013: 256–260 (in Russian).

12. Lukutsova N., Gornostaeva E. Influence of micro- and nanodispersed additions on qualities of wood-and cement compositions. SITA journal Israel. 2012; 3, v. 14: 70–75.

13. Kurdjumova V.M., Azygaliev U.Sh., Il'chenko L.V. Stroitel'nye organopolimerkompozity (OPK) na osnove slozhnogo napolnitelja iz mestnogo syr'ja. [Construction of organic polymer composites on the base of complex fillers from local raw materials]. Vestnik Kyrgyzsko-Rossijskogo slavjanskogo universiteta. 2017; T. 17, no 1: 137–141 (in Russian).

14. Mavljanov A.S., Abyshov A.A. Opredelenie fazovogo sostava vjazhushhih iz mestnyh gipsosoderzhashhih porod [Determination of phase composition of binders from local gypsum-containing rocks]. Vestnik KGUSTA. Bishkek, 2012; 3: 38–41.

15. Sheshukov A.P., Lychagin D.V., Makarov E.Ja. Issledovanie processov formirovaniya struktury arbolita pri himicheskoj aktivacii drevesiny [Investigation of the arbolit structure process de-

veloping under timber chemical activation]. Vestnik TGASU. 2014; 3: 145–152 (in Russian).

16. Matyeva A.K. The research of the weather resistant gypsum- ash- alkaline arbolit structure by scanning electron microscopy. Proceeding of the 1st International Scientific and Practical Conference «The goals of the World Science. 2016; 3(7): 98–102.

17. Matyeva A.K. Matematicheskoe modelirovanie po optimizacii sostava i svojstv arbolita na polimersilikatno-gipsovoj kompozicii (PSGK) [Numerical modeling for the content optimization and arbolit properties on polymer-silicate gypsum composition base]. Informacionnye tehnologii v obrazovanii: sostojanie, problemy i perspektivy. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija – Vestnik KGUSTA. 2011; 2(32), Tom1: 138–141 (in Russian).

**Поступила 26.02.2019, принята к публикации 21.0.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Матыева Акбермет Карыбековна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры имени Н.Исанова. ORCID ID 0000-0001-9765-1149 (Кыргызская Республика, 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34б, email: matyeva59@mail.ru).*

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*Akbermet K. Matyeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Civil Engineering Department, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N.A. Isanov, ORCID ID 0000-0001-9765-1149 (720020, Kyrgyz Republic, Bishkek, 34b, Malydbaeva St., email: matyeva59@mail.ru).*

УДК 624.012.45

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ

**В.М. Митасов, Н.В. Стаценко, Ф.К. Саметов, А.М. Курбонов**

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),  
г. Новосибирск, Россия*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Представлены результаты исследования, позволяющие оценить степень влияния заранее организованных трещин на характер трещинообразования и процесс деформирования многопустотных плит перекрытия при кратковременном действии нагрузки.

**Материалы и методы.** Плиты изготовлены без предварительного напряжения – одна по обычной технологии, вторая с заранее организованными трещинами в процессе изготовления. Выполнен физический эксперимент на натурных конструкциях многопустотных плит перекрытия П66.10-8А500СП. Испытания провели до расчётной разрушающей нагрузки. Представлен сопоставительный анализ характера трещинообразования и процесса деформирования многопустотных плит перекрытия П66.10-8А500СП обычного изготовления и с заранее организованными трещинами.

**Результаты.** Результаты эксперимента подтвердили выдвинутые ранее гипотезы о большей жесткости плит с заранее организованными трещинами по сравнению с плитами, где трещины возникали стохастически, при эксплуатационной нагрузке. Установка организованных трещин не снижает несущую способность, при этом снижается деформативность, вследствие этого ширина раскрытия трещин и прогибы становятся меньше.

**Обсуждение и заключения.** В конструкциях большой длины, которые бракуются по 2-й группе предельных состояний, организация трещин на стадии изготовления позволит не ставить дополнительную арматуру для снижения ширины раскрытия трещин и прогиба.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** многопустотная плита перекрытия; стохастические трещины, заранее организованные трещины; трещиностойкость.

© В.М. Митасов, Н.В. Стаценко, Ф.К. Саметов, А.М. Курбонов



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# CRACK STRENGTH OF HOLLOW CORE SLABS: EXPERIMENTAL RESEARCH

V.M. Mitasov, N.V. Statsenko, F.K. Sametov, A.M. Kurbonov  
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),  
Novosibirsk, Russia

## ABSTRACT

**Introduction.** The paper presents the results of research that allow assessing the degree of influence of pre-organized cracks on the character crack formation and on the process of the hollow-core slabs' deformation under short-term load action.

**Materials and methods.** The hollow-core slabs are made without prestressing – one by traditional technology, the second with pre-organized cracks in the manufacturing process. Physical experiment performed on full-scale structure of hollow-core slabs of П66.10-81500СП. The authors conducted the tests to the calculated breaking load. Moreover, the authors presented the contrastive analysis of character crack formation and of the hollow-core slabs' deformation of П66.10-8А500СП traditional manufacturing and with pre-organized cracks.

**Results.** As a result, the authors confirmed the earlier hypotheses about the greater rigidity of plates with pre-organized cracks in comparison with the plates where the cracks arose stochastically and under operational load. The installation of organized cracks did not reduce the bearing capacity, thus, reduced the deformability. Therefore, the width of the crack became smaller and the deflections became less.

**Discussion and conclusions.** In the structures of long length, which are rejected by the second limit group, the organization of cracks at the manufacturing stage allows not putting additional reinforcement to reduce the width and deflection of the crack.

**KEYWORDS:** hollow-core slabs, stochastic cracks, pre-organized cracks, crack strength.

© V.M. Mitasov, N.V. Statsenko, F.K. Sametov, A.M. Kurbonov



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

### ВВЕДЕНИЕ

В современном мире инноваций и быстрого строительства железобетонные многопустотные плиты перекрытия являются очень востребованными и во многих случаях предпочтительной альтернативой более традиционным строительным материалам. Очевидны преимущества такой конструкции: сравнительно небольшой вес, что обеспечивает экономию на перевозке материала, кроме того, такие панели не утяжеляют здание, экономична во время производства, обладает хорошей теплоизоляцией за счет пустот, что позволяет сэкономить средства на отопление помещений.

У многопустотных плит длиной более 6 м один из основных недостатков – это раннее трещинообразование в растянутой зоне. При проектировании многопустотных плит (без предварительного напряжения арматуры) для обеспечения безопасности и надёжности их работы определяющим оказывается расчёт по второй группе предельных состояний, а именно расчет деформирования конструкции, на который влияет жесткость.

В соответствии с действующими нормами расчета конструкций по методу предельных состояний в стадии эксплуатации наличие трещин в изгибаемой конструкции второй и третьей категории трещиностойкости допускается, ограничивается лишь ширина их раскрытия.

Фундаментальный вклад в исследованиях трещиностойкости и деформативности железобетонных конструкций внесли А.А. Гвоздев [1], В.И. Мурашев<sup>1</sup>, Н.И. Безухов<sup>2</sup>, С.М. Крылов<sup>3</sup>, в дальнейшем О.Я. Берг<sup>4</sup>, В.М. Бондаренко<sup>5</sup>, Я.М. Немировский [2], Н.И. Карпенко<sup>6</sup> и др.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом проводятся исследования, направленные на разработку и совершенствование

методики расчёта жёсткости железобетонных изгибаемых элементов с трещинами в стадии эксплуатации [3, 4, 5], изучается влияние ранее существующих трещин на прочность сцепления арматуры с бетоном<sup>7</sup> [6, 7, 8], прогнозирование трещинообразования в железобетонных конструкциях [9, 10].

В ряде работ [3, 11, 12, 13, 14, 15, 16] обоснован динамический характер образования первой стохастической трещины, что в значительной степени влияет на жесткость железобетонных изгибаемых элементов. Для исключения или существенного снижения динамики образования стохастической трещины проф. В.М. Митасов предложил смягчить данный процесс путем организации нормальных трещин в ходе изготовления конструкций из железобетона. В развитии этого направления были проведены физические эксперименты на бетонных и железобетонных балках и безбалочных плитах перекрытия с заранее организованными трещинами [17, 18, 19, 20].

Цель настоящего исследования – изучить влияние заранее организованных трещин на трещиностойкость и деформативность многопустотных плит при кратковременном действии нагрузки.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выявить особенности процесса трещинообразования, оценить ширину раскрытия трещин и прогибы в вышеупомянутых многопустотных плитах на разных этапах приложения нагрузки.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с поставленными целью и задачами исследования были изготовлены и испытаны 2 железобетонные многопустотные плиты перекрытия: одна обычного изготовления, другая с пятью заранее организованными трещинами. Организованная трещина – это устанавливаемая сверху на арматуру алюми-

---

<sup>1</sup> Мурашев В. И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. М. : Машстройиздат, 1950. 268 с.

<sup>2</sup> Безухов Н.И. Основы теории сооружений, материал которых не следует закону Гука // Сб. тр. 1936 г. М., 1936. №4. С. 7-81.

<sup>3</sup> Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях. М. : Стройиздат, 1964. 165 с.

<sup>4</sup> Берг О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М. : Госстройиздат, 1962. 96 с.

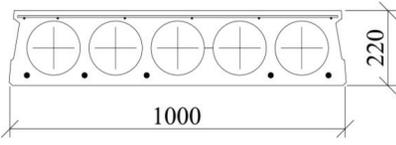
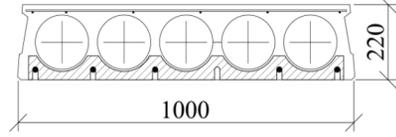
<sup>5</sup> Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1968. 323 с.

<sup>6</sup> Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М. : Стройиздат, 1976. 208 с.

<sup>7</sup> Прокопович А. А. Соппротивление изгибу железобетонных конструкций с различными условиями сцепления продольной арматуры с бетоном. Самара : НВФ Сенсоры. Модули. Системы, 2000. 296 с.

Таблица 1  
Исходные данные

Table 1  
Basic conditions

Шифр плиты	Схема расстановки организованных трещин	Продольная рабочая арматура, мм	Призменная прочность бетона, МПа
		$d_s/\mu$	$R_{bn}$
П66.10-8А500СП		$5\varnothing 14$ 1,9%	24,9
П66.10-8А500СП-Т5		$5\varnothing 14$ 1,9%	24,6

ниевая пластинка толщиной 0,25 мм до бетонирования плиты. Чтобы избежать коррозии арматуры, вырезы были больше диаметра арматуры и не касались ее. Для фиксации пластины симметрично на внутренних боковых поверхностях металлической опалубки делали пазы на длину 70 мм и глубину 2–3 мм. На основании выводов, опубликованных в работах [21, 22], шаг трещин принят 400 мм (рисунок 1). Высоту организованных трещин приняли менее 0,3h плиты, так как исследования показали<sup>8</sup>, что при большой высоте создаются благоприятные условия для изменения направления развития трещин с поперечного на продольное, что может привести к выколам части бетона плиты, ограниченного трещинами и резко снизить несущую способность железобетонного изгибаемого элемента или привести к разрушению.

Обе плиты были испытаны по идентичной технологии. Исходные данные по программе эксперимента приведены в таблице 1. В результате испытаний был получен сравнительный материал по трещинообразованию плит с различными исходными состояниями.

Плиты изготовлены из мелкозернистого бетона В25. В растянутой зоне плит расположена продольная рабочая арматура из горячекатаной стали периодического профиля без предварительного напряжения  $5\varnothing 14$  А500СП. Процент армирования составляет  $\mu = 1,9\%$ . В приопорных зонах в 1/4 части пролёта в пли-

тах установлены 4 сварных каркаса, состоящих из продольной и поперечной арматуры проволоки  $\varnothing 4$  Вр500. В сжатой зоне плит расположена сетка с ячейками 200x250 мм из проволоки  $\varnothing 4$ Вр500. Схема армирования представлена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Алюминиевые пластины для создания организованных трещин

Figure 1 – Aluminum plates to create pre-organized cracks

В качестве расчетной схемы при испытании плит принята схема шарнирно-опертой однопролётной балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой в диапазоне  $0 \div 12,65$  кН/м<sup>2</sup>. Загружение плит проводили штучным материалом (перемычки 2ПБ13-1 массой 54 кг) ступенями по 1,23 кН/м<sup>2</sup>. На каждой ступени нагружения выдерживали 15 мин, в течение этого времени фиксировали показания приборов и измеряли ширину раскрытия трещин.

Схема испытания и расстановка механических приборов на железобетонных многопустотных плитах перекрытия показана на

<sup>8</sup> Пересыпкин Е.Н. Расчет стержневых железобетонных элементов. М.: Стройиздат, 1988. 168 с.

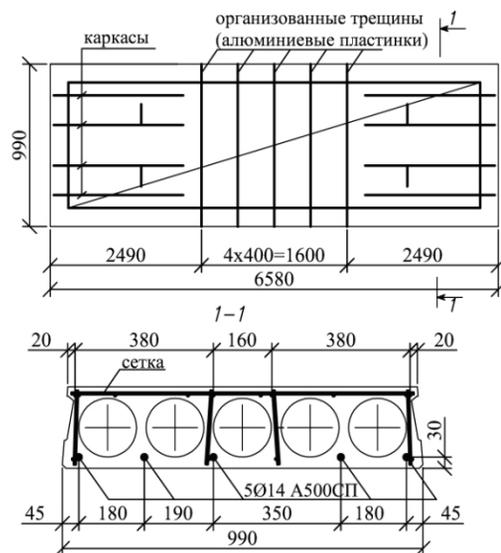


Рисунок 2 – Схема армирования многоярусной плиты и расположение заранее организованных трещин

Figure 2 – Scheme of reinforcing hollow core slab and the position of pre-organized cracks

рисунке 3. Для регистрации прогибов балок использовали прогибометры Аистова с ценой деления 0,01 мм. Осадки опор и перемещения измеряли при помощи индикаторов часовой-

го типа ИЧ с ценой деления 0,01 мм. Ширину раскрытия трещин измеряли с помощью микроскопа МПБ-2.

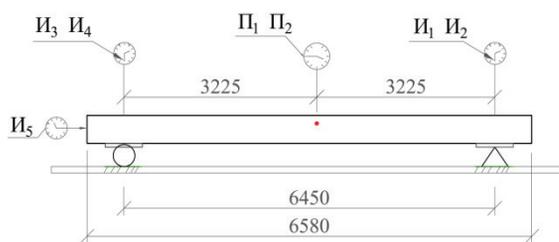


Рисунок 3 – Общий вид установки для испытания плит

Figure 3 – View of the test schematic slabs

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Первые видимые трещины появились на 2-й ступени нагружения (рисунок 4) в зоне максимальных моментов. В плите П66.10-8А500СП обычного изготовления их было 7 шт., высота трещин была в пределах  $h_{\text{crс}} = (0,35-0,83)h$  плиты, при этом максимальное значение  $h_{\text{crс}} = 165$  мм ( $0,83h$  плиты) зафиксировано в середине пролета. Шаг трещин в среднем составлял  $l_{\text{crс}} = 390$  мм, при этом минимальное расстояние между трещинами  $l_{\text{crс}} =$

$= 215$  мм, а максимальное  $l_{\text{crс}} = 505$  мм. В плите П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами количество трещин в два раза больше, но высота трещин в пределах  $h_{\text{crс}} = (0,25-0,65)h$  плиты, при этом роста по высоте организованных трещин не наблюдалось. Шаг трещин в среднем составлял  $l_{\text{crс}} = 215$  мм, минимальное расстояние между трещинами  $l_{\text{crс}} = 130$  мм, максимальное  $l_{\text{crс}} = 432$  мм. Ширина раскрытия трещин не превышала  $a_{\text{crс}} = 0,025$  мм в обеих плитах.

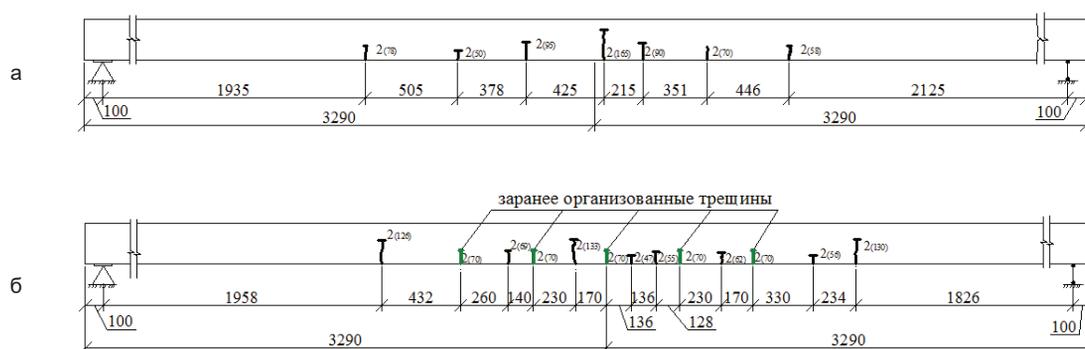


Рисунок 4 – Схема трещинообразования на второй ступени нагружения:  
а – в плите П66.10-8А500СП; б – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 4 – Scheme of crack propagation in the second loading stage:  
a – P66.10-8A500СП slab; b – P66.10-8A500СП-T5 slab

Дальнейшее увеличение нагрузки до 4-й ступени ( $F = 775 \text{ кгс/м}^2$ ) нагружения сопровождалось быстрым развитием трещин по высоте и ширине, и появлением новых трещин в плите П66.10-8А500СП (рисунок 5, а). Высота трещин составляла в среднем  $h_{\text{срс}} = 0,7h$  плиты, при этом максимальное значение  $h_{\text{срс}} = 185 \text{ мм}$  ( $0,83h$  плиты) зафиксировано

в середине пролета. Шаг трещин в среднем составлял  $l_{\text{срс}} = 270 \text{ мм}$ , минимальное расстояние между трещинами  $l_{\text{срс}} = 140 \text{ мм}$ , а максимальное  $l_{\text{срс}} = 425 \text{ мм}$ . Максимальная ширина раскрытия зафиксирована в середине пролета  $a_{\text{срс}} = 0,15 \text{ мм}$ .



Рисунок 5 – Схема трещинообразования на четвертой ступени нагружения:  
а – в плите П66.10-8А500СП; б – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 5 – Scheme of crack propagation in the fourth loading stage:  
a – P66.10-8A500СП slab; b – P66.10-8A500СП-T5 slab

В плите П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами количество трещин составило 21шт., высота трещин не превышала  $h_{\text{срс}} = 130 \text{ мм}$   $0,65h$  плиты, при этом роста ширины раскрытия трещин не наблюдалось (рисуноу 5, б). Шаг трещин в среднем составлял  $l_{\text{срс}} = 175 \text{ мм}$ , минимальное расстояние

между трещинами  $l_{\text{срс}} = 80 \text{ мм}$ , максимальное  $l_{\text{срс}} = 385 \text{ мм}$ . Ширина раскрытия трещин не превышала  $a_{\text{срс}} = 0,1 \text{ мм}$ .

Далее по мере увеличения нагрузки интенсивность развития трещин по высоте замедляется и практически завершается при нагрузках, составляющих приблизительно  $0,6...0,8$

### РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

от разрушающей в плите П66.10-8А500СП. Максимальная высота нормальных трещин составляет  $(0,6...0,93)h$  плиты. Ширина раскрытия трещины в середине пролета достигает 0,7 мм.

В плите П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами количество трещин увеличилось, высота трещин не превышала  $h_{cr} = 165$  мм  $(0,83)h$  плиты, ширина раскрытия трещин не превышает 0,1 мм (рисунок 5, б). Организованные трещины имеют незначительное раскрытие в среднем  $a_{cr,m} = 0,05...0,1$  мм. Шаг трещин в среднем состав-

лял  $l_{cr} = 175$  мм, при этом минимальное расстояние между трещинами  $l_{cr} = 66$  мм, максимальное  $l_{cr} = 300$  мм. Схемы расположения последующих трещин показаны на рисунках 6, 7.

При увеличении нагрузки до  $(0,8-1)F_{ult}$  от разрушающей в плите П66.10-8А500СП рост трещин замедляется и происходит их заметное раскрытие до 0,7мм, а в плите П66.10-8А500СП-Т5 рост трещин прекратился уже при нагрузке  $(0,6-0,7)F_{ult}$ , при этом количество новых трещин росло, ширина раскрытия трещин не превышала 0,1мм.



Рисунок 6 – Схема трещинообразования на шестой ступени нагружения: а – в плите П66.10-8А500СП; б – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 6 – Scheme of crack propagation in the sixth loading stage: а – П66.10-8А500СП slab; б – П66.10-8А500СП-Т5 slab

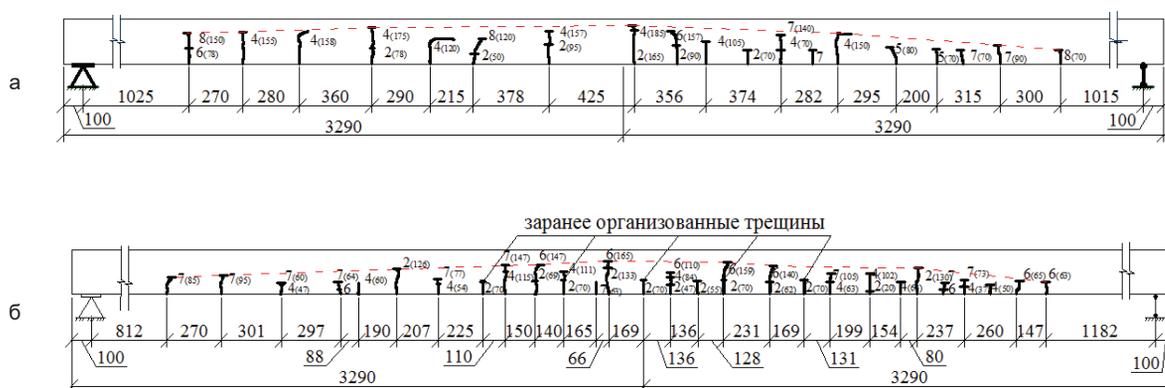


Рисунок 7 – Схема трещинообразования на восьмой ступени нагружения: а – в плите П66.10-8А500СП; б – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 7 – Scheme of crack propagation in the eighth loading stage: а – П66.10-8А500СП slab; б – П66.10-8А500СП-Т5 slab

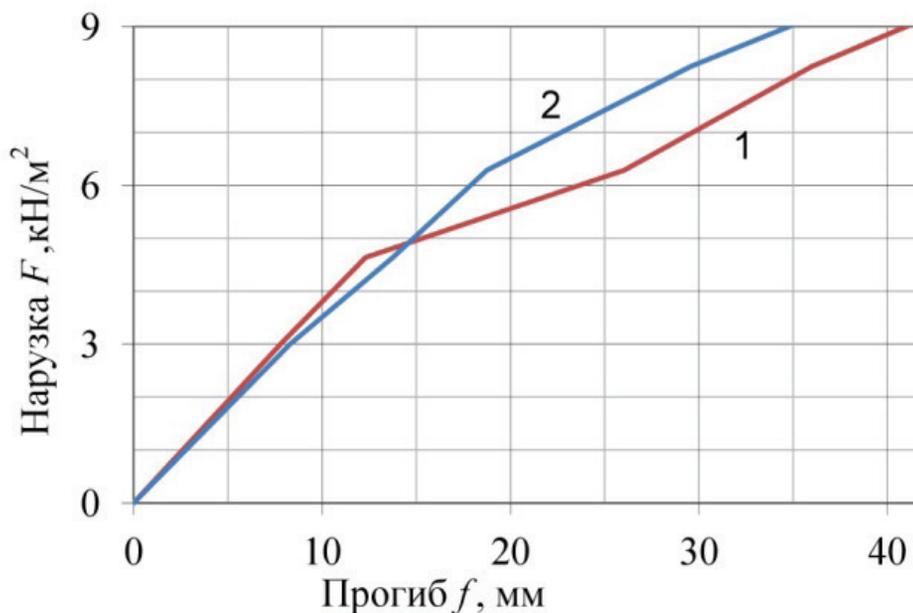


Рисунок 8 – График зависимостей прогиба  $f$  от нагрузки  $F$ :  
1 – в плите П66.10-8А500СП;  
2 – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 8 – Dependency graph of the  $f$  deflection from the  $F$  load:  
1 – in П66.10-8А500СП slab;  
2 – in П66.10-8А500СП-Т5 slab

Таблица 2  
Сравнение теоретических расчетов плиты с экспериментальными данными

Table 2  
Comparison of theoretical calculations of the plate with experimental data

Исследуемое состояние конструкции	Контрольные нагрузки и параметры		
	экспериментальные данные		по нормативно-техническим документам
	П66.10-8А500СП обычного изготовления	П66.10-8А500СП-Т5 с организованными трещинами	
По трещиностойкости	Нагрузка, при которой образуется трещина		
	$q_{crс}^{on} = 4,63 \text{ кН/м}^2$	-	$q_{crс}^k = 3,92 \text{ кН/м}^2$
По ширине раскрытия нормальных трещин	При контрольной нагрузке $q_a^k = 9,6 \text{ кН/м}^2$		
	$a_{crс}^{on} \leq 0,4 \text{ мм}$	$a_{crс}^{on} \leq 0,1 \text{ мм}$	$a_{crс} \leq 0,3 \text{ мм}$
По жесткости (по деформации)	При контрольной нагрузке $q_r^k = 8,4 \text{ кН/м}^2$		
	$f_k^{on} = 35 \text{ мм}$	$f_k^{on} = 29,6 \text{ мм}$	$f_k = 32 \text{ мм}$

График зависимости прогиба от нагрузки в плите П66.10-8А500СП показан на рисунке 8. В упругой стадии работы значение прогиба плиты обычного изготовления отличается от прогиба плиты П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами в пределах 12%, и только при образовании стохастических трещин на графике отчетливо различимо изменение значения прогиба плит под нагрузкой.

В момент образования стохастических трещин прогиб плиты обычного изготовления увеличился в 2 раза. Это укладывается в классическое решение задачи строительной механики. Для модели с одной степенью свободы динамические перемещения вдвое превышают перемещения от статически приложенной нагрузки<sup>9</sup>. В плите П66.10-8А500СП-Т5 в момент образования новых стохастических и раскрытия заранее организованных трещин прогиб увеличился на 40%.

Сравнение теоретических расчетов плиты по трещиностойкости и деформативности с экспериментальными данными, полученными при испытании многопустотных плит перекрытия, приведено в таблице 2.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При сравнении характера трещинообразования плит, приведенных на рисунках 4–7, выявлено, что заранее организованные трещины качественно и количественно влияют на характер развития трещин. В плите П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами по сравнению с плитой П66.10-8А500СП количество трещин превышено в три раза, вследствие этого шаг трещин меньше. Роста по высоте заранее организованных трещин не наблюдалось, высота новых трещин меньше, чем у плиты обычного изготовления.

2. Ширина раскрытия трещин в плитах обычного изготовления достигла 0,4 мм, в плитах же с заранее организованными трещинами не превышала 0,1 мм при контрольной нагрузке по ширине раскрытия нормальных трещин (с учётом собственного веса), что допустимо по нормативно-техническим документам.

3. Организация трещин при изготовлении конструкций положительно сказывается на параметрах второй группы предельных состояний - уменьшаются ширина раскрытия трещин и прогибы. При контрольной нагрузке по жесткости (с учётом собственного веса) прогиб в середине пролета плиты обычного из-

готовления превышает соответствующую величину в плитах с заранее организованными трещинами на 15%.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гвоздев А.А., Карпенко Н.И. Работа железобетона с трещинами при плоском напряженном состоянии // Строительная механика и расчет сооружений. 1965. № 2. С. 20–23.

2. Немировский Я.М. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с учётом работы растянутого бетона над трещиной и пересмотр на этой основе теории расчёта деформаций и раскрытия трещин // Прочность и жёсткость железобетонных конструкций: сб. научн.ст. НИИЖБ. М., 1968. С. 47–54.

3. Митасов В.М. Основные положения теории сопротивления железобетона: монография. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010. 158 с.

4. Darwin D., Dolan C. W., Nilson A.H. Design of Concrete Structures. 15th edition. New York: McGraw-Hill, 2016. 786 p.

5. Радайкин О.В. К совершенствованию методики расчёта жёсткости изгибаемых железобетонных элементов из обычного железобетона // Известия КазГАСУ. 2012. № 1(19). С. 59–66.

6. Yuan J., O'Reilly M., Matamoros A., Darwin D. Effect of Simulated Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars [Электрон. ресурс]: SL Report 12-2. University of Kansas Center for Research. Lawrence. Kansas, 2012. 243p. Режим доступа: <http://hdl.handle.net/1808/19828>.

7. Yuan J., O'Reilly M., Matamoros A., Darwin D. Effect of Preexisting Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars // ACI Structural Journal. 2016. Vol. 113, No. 4. pp. 801–812.

8. Спрыгин Г.М., Решетарь Ю.Г. Деформативность изгибаемых элементов при частичном отсутствии сцепления арматуры с бетоном // Бетон и железобетон. 1983. № 4. С. 12–14.

9. Carino N.J., Clifton J.R. Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structures. Gaithersburg: NISTIR 5634, NIST BFRL, 1995. 50 p.

10. Васильев П.И., Пресыпкин Е.Н. Об условиях образования продольных трещин в изгибаемых железобетонных элементах // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. 1983. № 9. С. 29–33.

<sup>9</sup> Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. С.П. Тимошенко. М.: Наука, 1965. Т. 1. 364 с.

11. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids // *Philos. Trans. Roy. Soc.*, London. 1920. Ser. A. Vol. 221. pp. 163–198.

12. Griffith A.A. The theory of rupture // *Proc. First Internet Congress Appl. Mech. Delft, 1924*. pp. 55–63.

13. Митасов В.М. Некоторые пути дальнейшего развития теории сопротивления железобетона // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1990. №10. С. 3–9.

14. Marder M. Shock-wave theory for rupture of Rubber. *Physical Review Letters*. 2005. vol. 94. Ser. 048001. Режим доступа: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.94.048001>.

15. Guodzen T M., Jagla E.A. Supersonic Crack Propagation in a class of Lattice Models of Mode III Brittle Fracture. *Physical Review Letters*, 2005, vol. 95, Ser. 224302. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10704-009-9426-4>.

16. Митасов В.М., Стаценко Н.В. Динамический аспект образования стохастических трещин в бетонных и железобетонных конструкциях // *Известия вузов. Строительство*. 2016. № 8. С. 5 – 11.

17. Михайлова Н.С. Экспериментальные исследования железобетонных балок без трещин и с заранее намеченной трещиной // *Известия вузов. Строительство*. 2007. С. 117 – 120.

18. Логунова М.А., Пешков А.С. Экспериментальные исследования бетонных балок без организованных трещин и с заранее организованными трещинами // *Известия вузов. Строительство*. 2011. № 1. С. 116 – 120.

19. Митасов В.М., Логунова М.А., Шатохина М.В. Железобетонные балки с организованными трещинами под воздействием длительной нагрузки // *Известия вузов. Строительство*. 2013. №10. С. 5 – 10.

20. Mitasov V.M., Statsenko N.V. Control of stress-strain state in double-span reinforced concrete beams. *MATEC Web of Conference* 143, 01007, 2018. Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814301007>.

21. Адищев В.В., Роот В.В. Определение параметров напряженно-деформированного состояния в окрестности трещины нормального отрыва в изгибаемых железобетонных элементах // *Труды НГАСУ*. 2013. Т.16. № 2(56). С. 83–95.

22. Адищев В.В., Демешкин А.Г., Шульга В.К., Грачева М.С., Данилов М.Н., Мальцев В.В. Определение зоны анкеровки армирующего элемента при вытягивании из матрицы // *Известия вузов. Строительство*. 2014. № 12. С. 67–79.

## REFERENCES

1. Gvozdev A.A. Rabota zhelezobetona s treshhinami pri ploskom naprjazhennom sostojanii [Reinforced concrete with cracks in the plane stress state]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*. 1965; 2: 20–23 (in Russian).

2. Nemirovskij Ja. M. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija zhelezobetonyh jelementov s uchjotom raboty rastjanutogo betona nad treshhinoj i peresmotr na jetoj osnove teorii raschjota deformacij i raskrytija treshhin. [Investigation of the stress-strain state of reinforced concrete elements, taking into account the work of stretched concrete over a crack, and revising, on this basis, the theory of deformation calculation and crack opening]. *Sbornik nauchnyh statej NIIZhB «Prochnost' i zhjostkost' zhelezobetonyh konstrukcij»*. 1968: 47–54 (in Russian).

3. Mitasov V.M. Osnovnyie polozheniya teorii soprotivleniya zhelezobetona: monografiya [Fundamental theses of reinforced concrete resistance theory: a monograph]. *Novosibirsk*, 2010: 158 p. (in Russian).

4. Darwin D., Dolan C. W., Nilson A. H. Design of Concrete Structures. New York: 15th edition McGraw-Hill, 2016. 786 p.

5. Radajkin O.V. K sovershenstvovaniju metodiki raschjota zhjostkosti izgibaemyh zhelezobetonyh jelementov iz obychnogo zhelezobetona [Improvement of the methodology for calculating the stiffness of flexible concrete elements from ordinary reinforced concrete]. *Izvestija KazGASU*. 2012; no 1(19): 59–66 (in Russian).

6. Yuan J., O'Reilly M., Matamoros A., Darwin D. Effect of Simulated Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars. *SL Report 12–2*. University of Kansas Center for Research. Lawrence. Kansas, 2012: 243p.

7. Yuan J., O'Reilly M., Matamoros A., Darwin D. Effect of Preexisting Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*. 2016; vol. 113, no. 4: 801–812.

8. Sprygin G.M., Reshetar' Ju.G. Deformativnost' izgibaemyh jelementov pri chastichnom otsutstvii sceplenija armatury s betonom [Deformability of flexural elements with partial absence clutch of reinforcement to concrete]. *Beton i zhelezobeton*. 1983; 4: 12–14 (in Russian).

9. Carino N.J., Clifton J.R. Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structures. *Gaithersburg: NISTIR 5634, NIST BFRL*, 1995: 50 p.

10. Vasil'ev P.I., Peresyarkin E.N. Ob usloviyah obrazovaniya prodol'nyh treshhin v izgibaemykh zhelezobetonnykh jelementah [On the conditions for the formation of longitudinal cracks in bending reinforced concrete elements]. *Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura*. 1983; 9: 29–33 (in Russian).

11. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids. *Philos. Trans. Roy. Soc., London*, 1920, Ser. A., vol. 221: 163–198.

12. Griffith A. A. The theory of rupture. *Proc. First Internat. Congress Appl. Mech. Delft*, 1924: 55–63.

13. Mitasov V. M. Nekotorye puti dal'nejshego razvitija teorii soprotivlenija zhelezobetona [Some further development ways of the resistance theory of reinforced concrete]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*. 1990; 10: 3–9 (in Russian).

14. Marder M. Shock-wave theory for rupture of Rubber. *Physical Review Letters*. 2005; 94, Ser. 048001.

15. Guodzen T.M., Jagla E.A. Supersonic Crack Propagation in a class of Lattice Models of Mode III Brittle Fracture. *Physical Review Letters*. 2005; 95, Ser. 224302.

16. Mitasov V.M., Statsenko N.V. Dinamicheskiy aspekt obrazovaniya stoxasticheskoj treshhiny v betonnykh i zhelezobetonnykh konstrukciyax [Dynamic aspect of the stochastic crack formation in concrete and reinforced concrete structure]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2016; 8: 5–11 (in Russian).

17. Mixajlova N.S. E'ksperimental'ny'e issledovaniya zhelezobetonnykh balok bez treshhin i s zaranee namechennoj treshhinoj [Experimental investigation of reinforced concrete beams without cracks and with previously intended crack]. *Izvestie vuzov. Stroitel'stvo*. 2007; 4: 117–120 (in Russian).

18. Logunova M.A., Peshkov A.S. E'ksperimental'ny'e issledovaniya betonnykh balok bez organizovannykh treshhin i s zaranee organizovanny'mi treshhinami [Experimental research of concrete beams without cracks and with specified cracks]. *Izvestie vuzov. Stroitel'stvo*. 2011; 1: 116–120 (in Russian).

19. Mitasov V.M., Logunova M.A., Shatovina M.V. Zhelezobetonny'e balki s organizovanny'mi treshhinami pod vozdejstviem dlitel'noj nagruzki [Reinforced concrete beams with specified cracks under the long-term load]. *Izvestie vuzov. Stroitel'stvo*. 2013; 10: 5–10 (in Russian).

20. Mitasov V.M., Statsenko N.V. Control of stress-strain state in double-span reinforced concrete beams. *MATEC Web of Conference*, 143, 01007. 2018.

21. Adishchev V.V., Root V.V. Opredelenie parametrov napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya v okrestnosti treshhiny normal'nogo otry'va v izgibaemykh zhelezobetonnykh e'lementax [Determination of stress-strain state parameters in the vicinity of the normal separation crack in the bent reinforced concrete elements]. *Trudy NGASU*. 2013; 16, no 2 (56): 83–95 (in Russian).

22. Adishchev V.V., Demeshkin A.G., Shul'ga V.K., Gracheva M.S., Danilov M.N., Mal'czev V.V. Opredelenie zony ankerovki armiruyushhego e'lementa pri vy'tyagivanii iz matricy [Definition of the anchoring zone of the reinforcing element when pulling from matrix]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2014; 12: 67–79 (in Russian).

**Поступила 25.03.2019 , принята к публикации 21.06.2019.**

**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**

*Митасов Валерий Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры Железобетонные конструкции, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. e-mail: mitassovv@mail.ru).*

*Стаценко Наталья Валерьевна – ст. преподаватель кафедры Железобетонные конструкции, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. e-mail: stacnat@yandex.ru).*

*Саметов Фархад Каримович – аспирант кафедры Железобетонные конструкции, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), (630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. e-mail: f\_sametov@mail.ru).*

*Курбонов Ахмаджон Махмарахимович – аспирант кафедры Железобетонные конструкции, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), (630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. e-mail: ajamy9009@gmail.com).*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Valeriy M. Mitasov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete Structures, Novosibirsk State Architectural University (Sibstrin), (630008, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., e-mail: mitassovv@mail.ru).*

*Natalya V. Statsenko – Graduate Student, Department of Reinforced Concrete Structures, Novosibirsk State Architectural University (Sibstrin) (630008, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., e-mail: stacnat@yandex.ru).*

*Farkhad K. Sametov – Graduate Student, Department of Reinforced Concrete Structures, Novosibirsk State Architectural University (Sibstrin) (630008, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., e-mail: f\_sametov@mail.ru).*

*Akhmadzhon M. Kurbonov – Graduate Student, Department of Reinforced Concrete Structures, Novosibirsk State Architectural University (Sibstrin) (630008, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., e-mail: ajamy9009@gmail.com).*

**ВКЛАД СОАВТОРОВ**

*Митасов В.М., Стаценко Н.В., Саметов Ф.К., Курбонов А.М. имеют равные авторские права.*

**AUTHORS' CONTRIBUTION**

*The authors have equal rights.*

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ-ОБОЛОЧКИ

А.В. Селиванов\*, Ф.Ф. Рeger  
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,  
г. Омск, Россия  
\*ant.seliwanov@yandex.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Приведены результаты экспериментальных исследований железобетонной плиты-оболочки при действии вертикальной равномерно распределенной нагрузки и сопоставления их с результатами оценки напряженно-деформированного состояния, выполненной в программном комплексе «Лира».

**Материалы и методы.** Испытывалась железобетонная модель, представляющая собой физически подобную копию натурной конструкции, с соблюдением единого масштабного коэффициента  $m = 1:5$  как в отношении генеральных размеров, так и отдельных деталей. При испытании нагрузка прикладывалась ступенями, составляющими 10–15% от теоретической несущей способности плиты.

**Результаты.** На основе результатов испытания модели были рассчитаны экспериментальные поперечные напряжения  $\sigma_{x,3,эксп}$ , возникающие в натурной конструкции, в центральной области 3. Было произведено их сопоставление с поперечными теоретическими напряжениями  $\sigma_{x,3,теор}$ , определенными в этой области при оценке напряженно-деформированного состояния, выполненной в программном комплексе «Лира». Эпюры указанных выше напряжений хорошо совпали по очертаниям и значениям.

**Обсуждение и заключение.** В области, расположенной в районе центра полки плиты-оболочки, экспериментальные  $\sigma_{x,3,эксп}$  и теоретические  $\sigma_{x,3,теор}$  напряжения были сжимающими. Своих максимальных значений напряжения  $\sigma_{x,3,эксп}$  достигали в точке с относительной координатой  $x/b = 0,5$ , а напряжения  $\sigma_{x,3,теор}$  – при  $x/b \approx 0,45$ .

Нулевых значений напряжения  $\sigma_{x,3,эксп}$  достигали в четвертях полки по ширине, теоретические напряжения – в точках с отношением  $x/b \approx 0,3$ .

Экспериментальные и теоретические растягивающие напряжения  $\sigma_{x,3}$  своих максимальных значений достигали в точках полки с отношением  $x/b \approx 0,15$ . Их значения были близки друг к другу и не превышали нормативного сопротивления бетона растяжению  $R_{bt, сер}$ .

Практическая значимость проведенного исследования состоит в получении экспериментального доказательства возможности отказа от горизонтального поперечного армирования полки, что позволит снизить трудоемкость и себестоимость производства исследуемых конструкций.

Перспектива развития рассмотренных в статье вопросов видится в решении таких задач, как: исследование работы плиты-оболочки в стадии предельного равновесия; исследование ее трещиностойкости и жесткости на всех стадиях ее работы; исследование работы плиты-оболочки с учетом закрепления в поперечном направлении ее продольных контурных ребер по всей их длине.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экспериментальное исследование, железобетонная плита-оболочка перекрытия, испытание.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** авторы выражают благодарность рецензентам за внимание, уделенное на рецензирование статьи, и высказанные замечания.

© А.В. Селиванов, Ф.Ф. Рeger



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE REINFORCED CONCRETE SHELL-SLAB

A.V. Selivano\*, F.F. Reger

Siberian State Automobile and Highway University  
Omsk, Russia

\*ant.seliwanov@yandex.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The paper demonstrates the results of experimental research of the reinforced concrete shell-slab under the action of vertical uniformly distributed load. The authors also present the comparison of such research results with the results of stress-strain state evaluation performed in the "Lira" software package.

**Materials and methods.** The authors tested the reinforced concrete model representing physically similar copy with the 1:5 scale coefficients by general size, and by separate details. The load was applied in 10–15% doze of the theoretical bearing capacity of the plate.

**Results.** The authors calculated the experimental transverse stress  $\sigma_{x,3,exp}$ , which was in full-scale construction and in the 3 central sphere. The authors also made the comparison of such transverse stress with theoretical transverse stresses  $\sigma_{x,3,theor}$  and the comparison was performed in the "Lira" program complex. The diagrams of the above stresses were well matched by outlines and values.

**Discussion and conclusions.** As a result, the experimental ( $\sigma_{x,3,exp}$ ) and theoretical ( $\sigma_{x,3,theor}$ ) stresses are compressive near the shell-slab center. Its maximum stress values ( $\sigma_{x,3,exp}$ ) reach  $x/b=0,5$  at a point with a relative coordinate, and the stress ( $\sigma_{x,3,theor}$ ) –  $x/b \approx 0,45$ .

The zero voltage values  $\sigma_{x,3,exp}$  reach a quarter of the shelf width, theoretical stress – with  $x/b \approx 0,3$  mm ratio.

Maximum values of experimental and theoretical tensile stresses  $\sigma_{x,3}$  reach  $x/b \approx 0,15$  ratio. Therefore, the values are close to each other, and do not exceed the standard concrete tensile resistance  $R_{bt,ser}$ . The practical significance of the study is to obtain experimental evidence of the abandoning possibility of the horizontal transverse reinforcement of the shelf, which would reduce the complexity and cost of the investigated structures production.

The prospects conclude in:

research of the shell-slab operation at the stage of ultimate equilibrium;

research of the shell-slab crack resistance and stiffness at all stages of its operation;

research of the shell-slab operation taking into account the fixation in the transverse direction of its longitudinal contour edges along entire length.

**KEYWORDS:** experimental study; reinforced concrete shell-slab; test.

**ACKNOWLEDGMENTS.** The authors express their gratitude to the reviewers for attention and comments while paper reviewing.

© A.V. Selivano, F.F. Reger



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

### ВВЕДЕНИЕ

Со времен начала массового использования железобетона в строительстве железобетонные изогнутые оболочки являлись перспективным направлением. За счет пространственной работы в оболочках практически отсутствуют изгибающие моменты и поперечные силы, что позволяет увеличить несущую способность и уменьшить расход арматуры. Использовать пространственный эффект многие ученые пытались и при работе сборных железобетонных плит перекрытия и покрытия<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> [1, 2, 3, 4]. Данный вид конструкций назвали плита-оболочка.

Плита-оболочка – это конструкция, имеющая прямоугольный в плане контур, одну из поверхностей криволинейную (в одном или двух направлениях), другую – плоскую<sup>7</sup>.

Во второй половине XX века в нашей стране было разработано достаточно много различных конструктивных решений сборных железобетонных плит-оболочек. Некоторые из них представлены на рисунке 1.

Каждый из предложенных вариантов конструкции плиты-оболочки имеет свои достоинства и недостатки, но очевидных преимуществ, позволивших бы ему конкурировать с пустотными или ребристыми плитами, ни один из них не имеет.

Большинство из предложенных вариантов имели один серьезный недостаток – сложность и трудоемкость изготовления. Есть предположение, что многие авторы при разработке своей конструкции плиты в последнюю очередь задумывались над технологией ее изготовления или вообще этим вопросом не

занимались, считая, что это прерогатива технологов. На практике все новые конструктивные решения реализовывались примитивно, по агрегатно-поточной технологии с увеличением объема ручного труда, что в конечном итоге сказывалось на стоимости изготовления изделий. В результате ни один из вариантов вспарушенных или цилиндрических плит не нашел массового применения в практике строительства.

Поскольку при расчете цилиндрической оболочки установлено, что в поперечном направлении почти отсутствуют изгибающие моменты и поперечные силы (3–7% от величины нагрузки), мы пришли к выводу, что данную форму плиты можно реализовать с применением технологии стендового безопалубочного формования. В настоящее время она признана одной из самых современных, позволяющих уменьшить численность обслуживающего персонала в 2–2,5 раза, энергоемкость – на 50–70%, повысить производительность производства<sup>8</sup> [5]. При этом данная технология изготовления имеет ряд особенностей: не допускает установку поперечной арматуры (горизонтальной и вертикальной), в то время как форма сечения конструкции может быть практически любой.

---

<sup>1</sup> Власов В.З. Избранные труды. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1962. Т. I. 528 с.

<sup>2</sup> Пособие по проектированию армоцементных конструкций (к СНиП 2.03.03-85). М. : Стройиздат. 1989. 71 с.

<sup>3</sup> Боровских А.В. Расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям и предельному равновесию. М. : Изд-во АСВ. 2002. 320 с.

<sup>4</sup> Боровских А.В., Шугаев В.В. Силовое сопротивление перекрытий зданий из плит-оболочек // Тезисы докладов научной сессии МОО и научного совета РААСН. «Пространственные конструкции зданий и сооружений». М., 2005. С.15–16.

<sup>5</sup> Хайдуков Г.К. Расчет по предельным состояниям ступенчато-вспарушенных шатровых панелей : науч. сообщ., вып. 7. АСИА СССР. М. : Госстройиздат, 1960. 110 с.

<sup>6</sup> Селиванов А.В., Ререр Ф.Ф. Оптимизация конструкции железобетонной плиты-оболочки с учетом современных тенденций в строительстве [Электронный ресурс] / А.В. Селиванов, Ф.Ф. Ререр // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы : материалы Международной научно-практической конф. 7–9 декабря 2016 г. / СибАДИ. Омск, 2016. С. 209–216. Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ed2224.pdf>.

<sup>7</sup> Там же.

<sup>8</sup> Малышев А.А. Современные линии безопалубочного формования // Каталог-справочник. Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. 2009. вып. 1. С. 20–23.

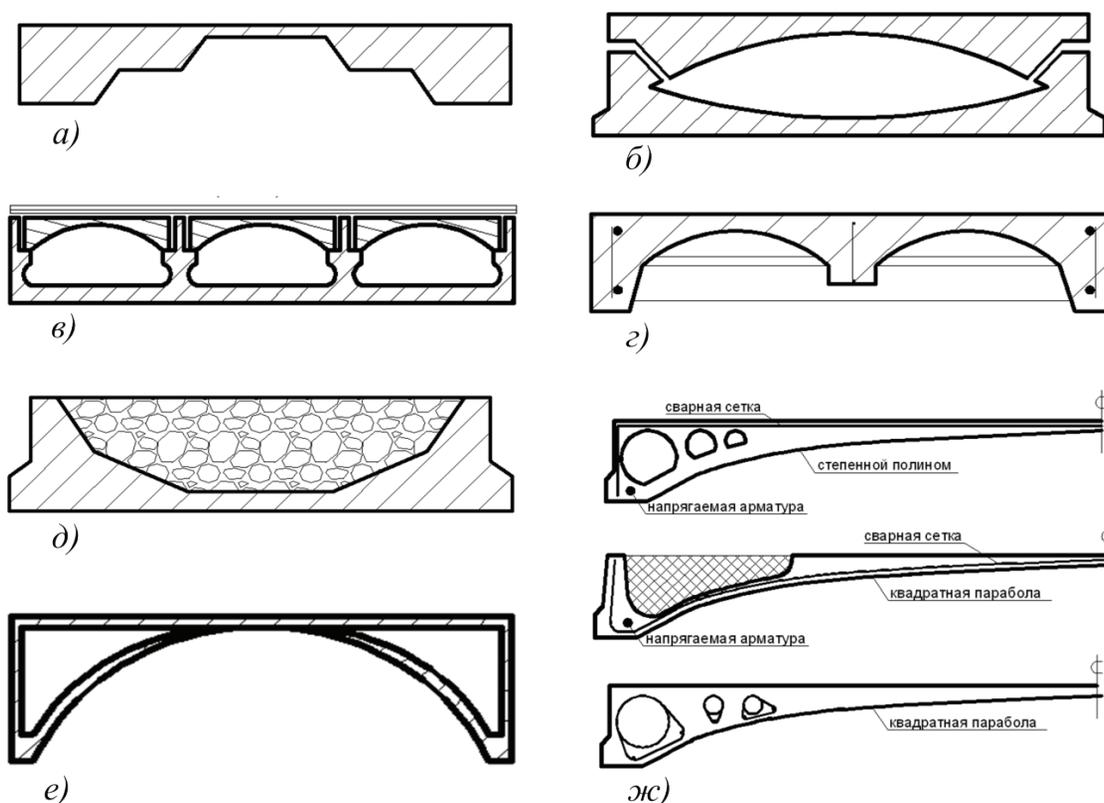


Рисунок 1 – Конструктивные решения вспарушенных и цилиндрических плит-оболочек:  
а – ступенчато-вспарушенная [11]; б – сдвоенная<sup>9</sup>;  
в – многопролетная<sup>10</sup>; г – кесонная<sup>11</sup>;  
д – с многогранной верхней поверхностью<sup>12</sup>;  
е – полая<sup>13</sup>; ж – облепечённая [12]

Figure 1 – Constructive solutions of exploded and cylindrical shell-slabs: а – stepwise pore [11]; б – double<sup>9</sup>;  
с – multi-span<sup>10</sup>; д – quench<sup>11</sup>; е – with a multi-faceted top surface<sup>12</sup>; ф – hollow<sup>13</sup>; г – lightweight [12]

<sup>9</sup> А.с. 739200 СССР, МКИЗ Е 04 В 5/48. Перекрытие / С.В. Карапетян ; Ереванский политехнический институт им. К. Маркса (СССР). № 2650709/29-33 ; заявл. 08.06.78 ; опубл. 05.06.80, Бюл. N21.

<sup>10</sup> А.с. 1240845 СССР, МКИЗ Е 04 В 5/02. Перекрытие / Б.Н. Бастатский ; Грузинский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт энергетики и гидротехнических сооружений. № 3778380/29-33 ; заявл. 03.08.84 ; опубл. 30.06.86, Бюл. № 24.

<sup>11</sup> А.с. 1300118 СССР, МКИЗ Е 04 В 7/00, Е 04 С 2/00. Железобетонная панель покрытия / О.Д. Дашкевич, В.И. Скрибо ; Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова. № 3745438/29-33 ; заявл. 28.05.84 ; опубл. 30.03.87, Бюл. N12.

<sup>12</sup> Пат. 2013505 РФ : МПК Е 04 В 5/18, Е 04 В 1/82 : Перекрытие / Б.Н. Бастатский, В.А. Федоров, Г.М. Кобахидзе ; Фирма «Гравитас». № 5012401/33 ; заявл. 25.11.1991 ; опубл. 30.05.1994, Бюл. № 5.

<sup>13</sup> Пат. 2082858 РФ : МПК Е 04 В 5/02 : Железобетонная плита покрытия / В.И. Травуш, Н.И. Карпенко ; В.И.Травуш. № 94004278 ; заявл. 10.02.1994 ; опубл. 27.06.1997, Бюл. № 7.

### РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Нами была предложена железобетонная плита-оболочка<sup>14, 15</sup>, изготовление которой возможно по технологии безопалубочного формования, включающая верхнюю горизонтальную полку и нижнюю изогнутую, продольные боковые и промежуточные ребра и продольные пустоты, размещенные между ребрами (рисунок 2).

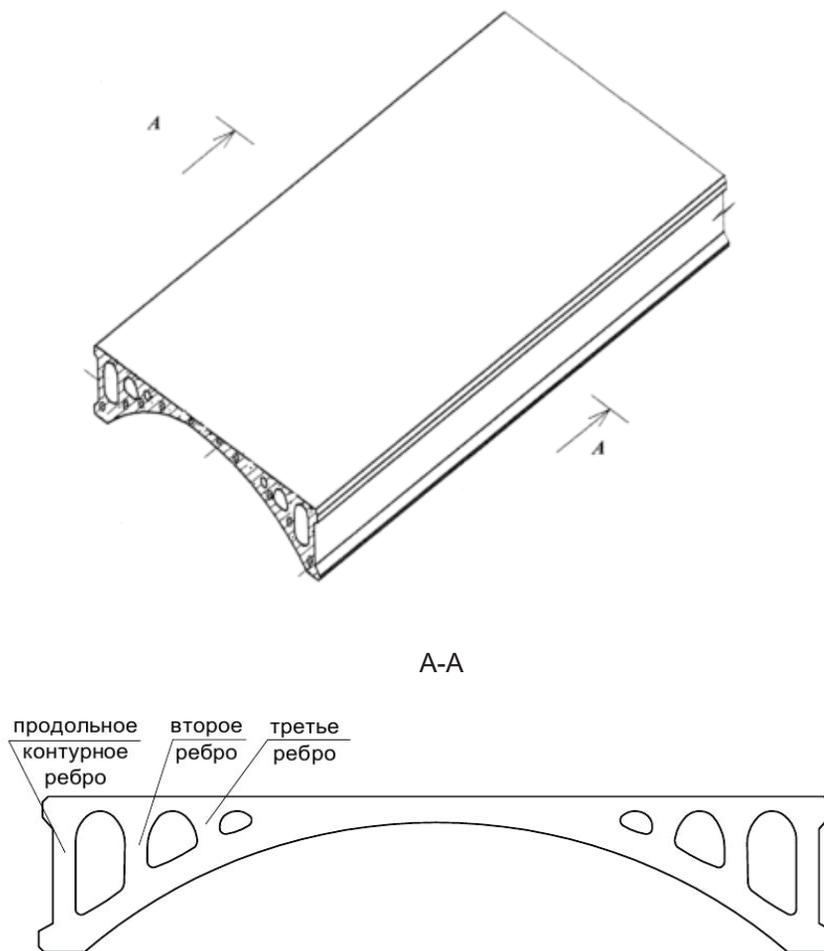


Рисунок 2 – Конструктивное решение и поперечное сечение железобетонной плиты-оболочки

Figure 2 – Structural design and cross-section of reinforced concrete shell-slab

Плита армирована продольными предварительно-напряженными элементами, нижняя полка выполнена вогнутой в сторону верхней полки. Размеры сечений продольных пустот уменьшаются от боковых ребер к центру плиты. Сечения продольных пустот, расположенных рядом с боковыми продольными ребрами, выполнены эллипсоидальными, сечения других продольных пустот выполнены в форме дуг окружностей (см. рисунок 2).

Нижняя поверхность испытываемой модели плиты-оболочки была разделена на пять условных областей (рисунок 3).

<sup>14</sup> Полез. модель 166449 РФ : МПК Е 04 В 5/43 : Железобетонная плита-оболочка / А.В. Селиванов, Ф.Ф. Регер ; СибАДИ. № 2016131534/03 ; заявл. 01.08.2016 ; опублик. 27.11.2016, Бюл. № 33.

<sup>15</sup> Боровских А.В. Экспериментальные исследования железобетонных плит-оболочек на крупномасштабных моделях // Тезисы докладов научной сессии МОО и научного совета РААСН. «Пространственные конструкции зданий и сооружений». М., 2007. С. 14–15.

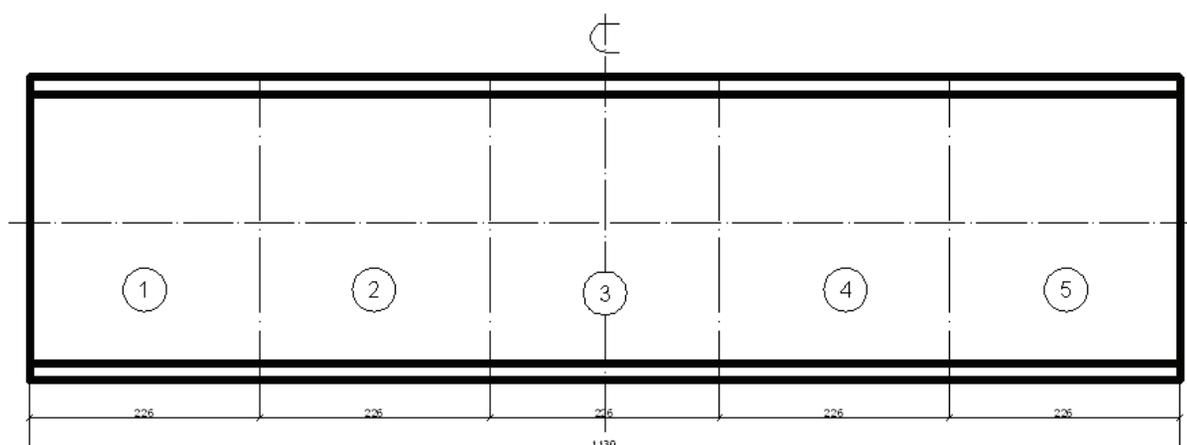


Рисунок 3 – Разделение нижней поверхности полки плиты-оболочки на области

Figure 3 – Separation of the lower shell-slab surface

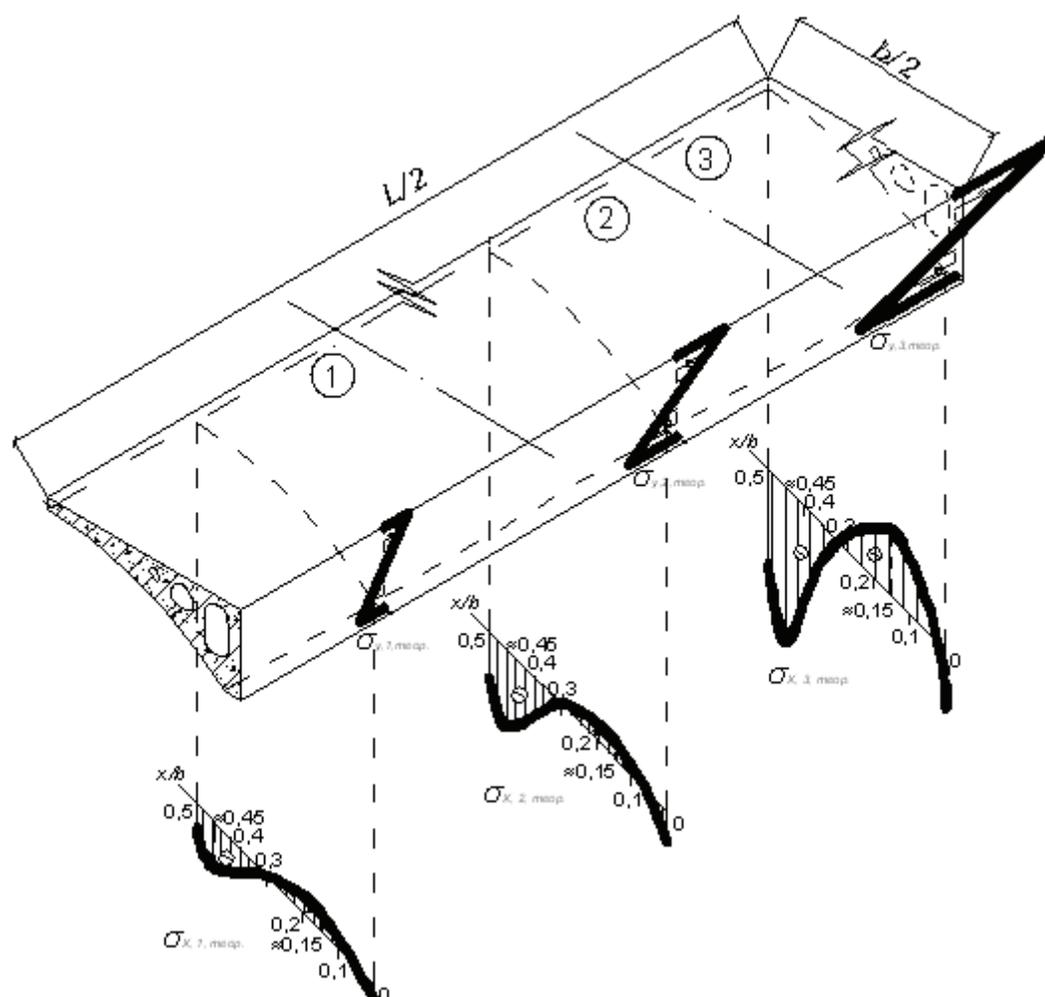


Рисунок 4 – Изменение теоретических напряжений  $\sigma_x$  в областях 1–3 по длине плиты-оболочки

Figure 4 – Changes in the  $\sigma_x$  theoretical stress in 1–3 areas by shell-slab length

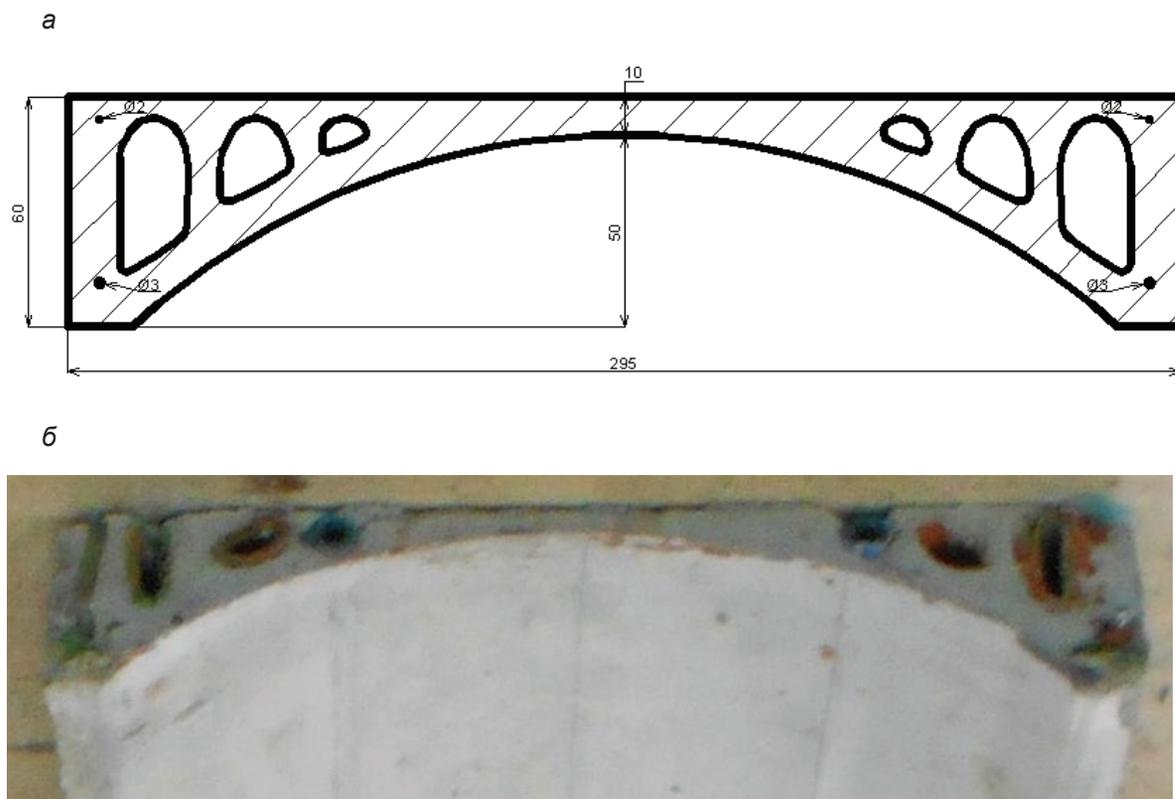


Рисунок 5 – Вид железобетонной модели:  
а – чертеж поперечного сечения модели;  
б – фото торца

Figure 5 – Reinforced concrete model view:  
a – cross section drawing of the model;  
b – model and photo

При оценке ее напряженно-деформированного состояния, выполненного в программном комплексе «Лира»<sup>16</sup>, было установлено, что в областях 1 и 5, расположенных вблизи опор, в продольных контурных и промежуточных ребрах возникают преимущественно касательные напряжения  $\tau_{yz}$ . Нормальные напряжения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в полке в этих областях близки к нулю (рисунок 4). В областях 2 и 4 в полке плиты-оболочки преобладают главные нормальные напряжения, действующие в горизонтальной плоскости, возникающие от совместного действия нормальных поперечных  $\sigma_x$  и продольных  $\sigma_y$  напряжений. Напряжения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  принимают промежуточные значения между нулевыми и максимальными (см. рисунок 4). Касательные напряжения  $\tau_{yz}$  в этих областях меньше, чем в областях 1 и 5. В области 3, расположенной в районе центра плиты-оболочки, продольные напряжения  $\sigma_y$  являются растягивающими и достигают своих максимальных

значений. Поперечные напряжения  $\sigma_x$ , как показала оценка напряженно-деформированного состояния, являются как растягивающими, так и сжимающими. Они также достигают своих максимальных значений, но не превышают нормативных сопротивлений бетона при сжатии и растяжении (см. рисунок 4).

Целью выполненного нами исследования являлось определение экспериментальных нормальных напряжений  $\sigma_x$ , возникающих на нижней грани полки плиты-оболочки перекрытия в области 3, и сопоставление их с теоретическими значениями.

В объем исследования входили следующие задачи:

- испытание модели плиты-оболочки;
- расчеты экспериментальных нормальных напряжений, возникающих в поперечном направлении на нижней грани полки модели плиты-оболочки;
- расчеты экспериментальных нормаль-

<sup>16</sup> Там же.



Рисунок 6 – Испытательная установка

Figure 6 – Test set

ных напряжений, возникающих в поперечном направлении на нижней грани натурной конструкции;

– сопоставление экспериментальных и теоретических значений нормальных напряжений, возникающих в поперечном направлении на нижней грани натурной конструкции.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Испытаниям натуральных железобетонных плоских и пространственных перекрытий и покрытий и их моделей посвящены работы<sup>17</sup> [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Мы в своих исследованиях испытывали железобетонную модель плиты-оболочки перекрытия с размерами в плане 295 x1130 мм (рисунок 5), представляющую собой физически подобную копию натурной конструкции, с соблюдением единого масштабного коэффициента  $m=1:5$  как в отношении генеральных размеров, так и отдельных деталей.

Ее продольная рабочая арматура состояла из двух канатов диаметром 3 мм, расположенных в нижней части продольных контурных ребер модели, и двух гладких проволок диаметром 2 мм, расположенных в верхней части этих ребер, над канатами (рисунок 5, а).

Рекомендуется производить лабораторные исследования железобетонных пространственных конструкций на моделях, изготовленных из армированного мелкозернистого бетона<sup>18</sup>. Такие модели, разработанные и изготовленные как подобные прототипу малоразмерных конструкции, обладают прочностными, упруго-пластическими и конструктивными свойствами, близкими к натурным железобетонным конструкциям. Это позволяет оценить не только работу конструкции в упругой стадии, но и поведение ее после образования трещин вплоть до разрушения.

Модель изготавливалась из пескобетона, в котором крупность песка не превышала 3 мм.

Она нагружалась при помощи испытательной установки, позволяющей получить изгибающий момент, возникающий в середине пролета ее продольного контурного ребра, максимально приближенного к изгибающему моменту, возникающему в нем при действии равномерно распределенной нагрузки.

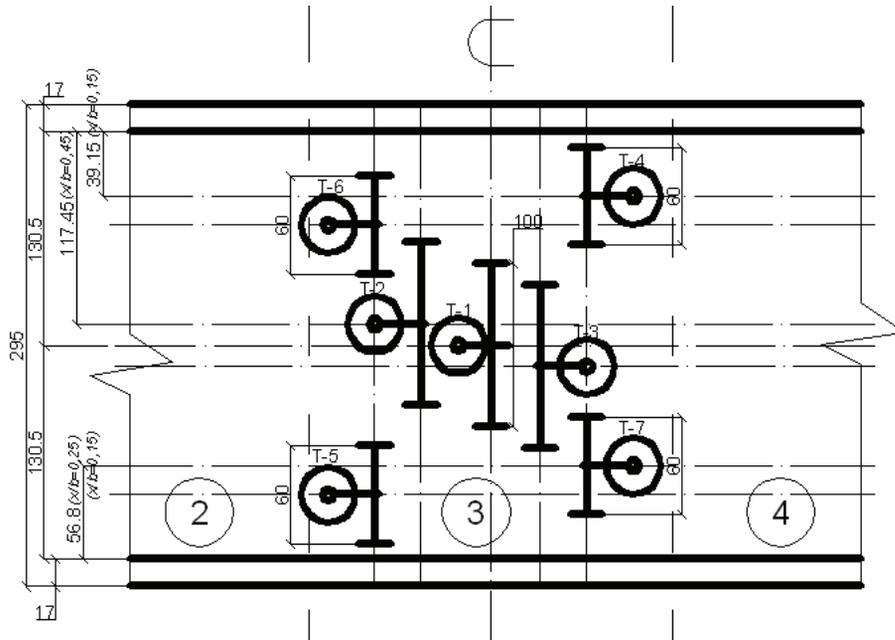
Испытательная установка показана на рисунке 6.

После проведения испытания модели плиты-оболочки рассчитывались экспериментальные нормальные напряжения  $\sigma_x$ , возник-

<sup>17</sup> Там же.

<sup>18</sup> Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. М. : НИИЖБ, 1979. 421 с.

a



b



Рисунок 7 – Крепление рычажных тензометров к нижней поверхности полки модели плиты-оболочки: а – схема; б – фото

Figure 7 – Diagram of the lever strain gauges on the shelf bottom of the shell-slab model: a – drawing; b – photo

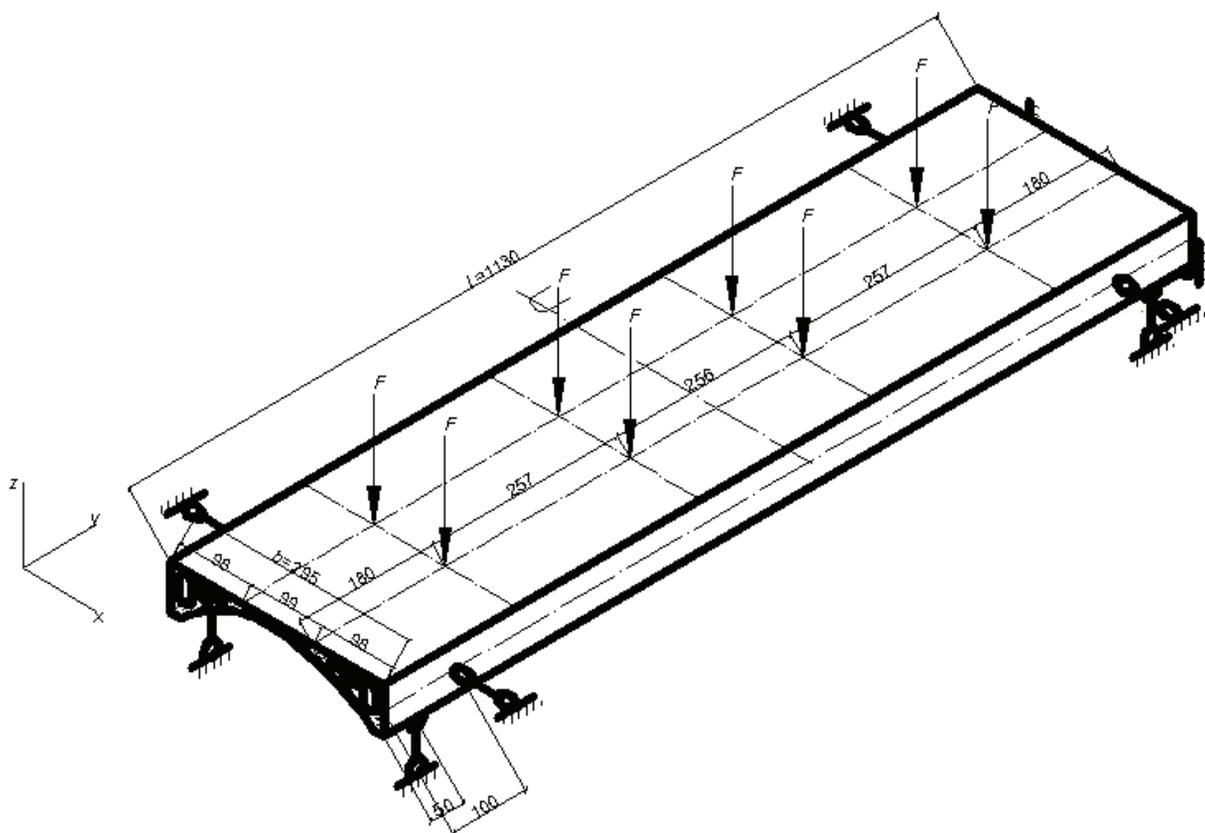


Рисунок 8 – Испытательная схема модели

Figure 8 – Model test circuit

кающие в области 3. Для этого определялись поперечные относительные деформации  $\varepsilon_x$  в точках, соответствующих центрам баз измерения деформаций тензодатчиков Т-1 – Т-7 (рисунок 7, а). Относительные деформации  $\varepsilon_x$  рассчитывались на основе отсчетов по рычажным тензодатчикам системы Гугенбергера с базой 100 и 60 мм (рисунок 7, а, б).

Испытание модели железобетонной плиты-оболочки перекрытия проводилось постепенным нагружением ступенями, составляю-

щими по 10–15% от ее теоретической несущей способности. Испытательная схема показана на рисунке 8. На каждой ступени нагружения снимались отсчеты по тензодатчикам Т-1 – Т-7 (см. рисунок 7).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Сопоставление экспериментальной  $\sigma_{x,3,эксп}$  и теоретической  $\sigma_{x,3,теор}$  эпюр напряжений, возникающих в области 3 (см. рисунок 3), приведено на рисунке 9.

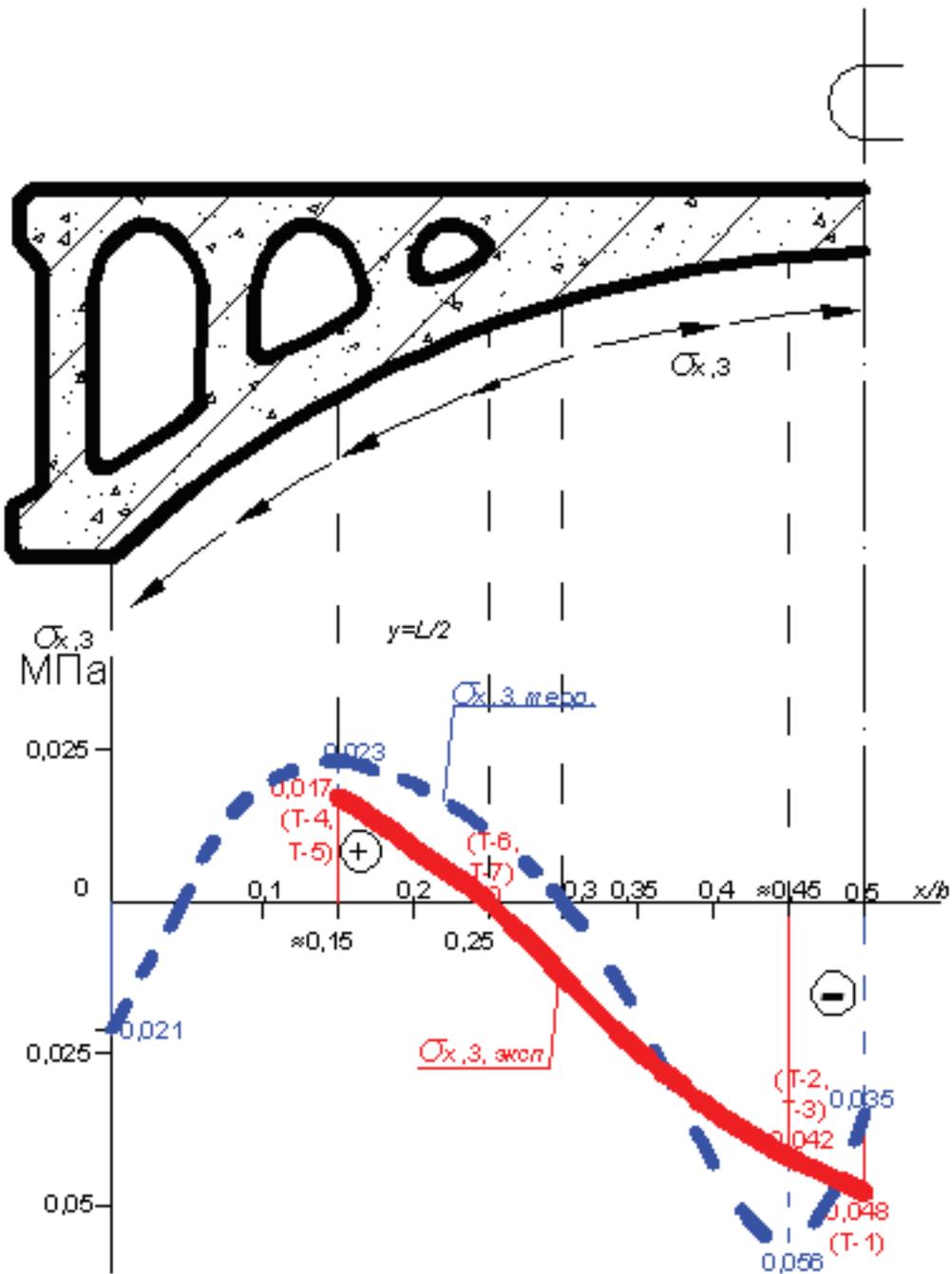


Рисунок 9 – Сопоставление экспериментальной и теоретической эпюр напряжений  $\sigma_{x,3}$  возникающих в натурной конструкции:  
 $\sigma_{x,3, \text{эксп}}$  – эпюра экспериментальных напряжений;  
 $\sigma_{x,3, \text{теор}}$  – эпюра теоретических напряжений<sup>1</sup>

Figure 9 – Comparison of the experimental and theoretical stress diagrams  $\sigma_{x,3}$  arising in full-scale construction:  
 $\sigma_{x,3, \text{exp}}$  – diagram of experimental stresses;  
 $\sigma_{x,3, \text{theor}}$  – diagram of theoretical stresses

<sup>1</sup> Там же

Максимальные сжимающие деформации установлены на тензомере Т-1, размещенном в центре полки. Нормальные напряжения в поперечном направлении (при нагрузке, контрольной по прочности) составили 0,048 МПа. При смещениях в одну или другую сторону фактические значения деформаций и соответствующие им сжимающие напряжения уменьшались вплоть до значений другого знака. Максимальные растягивающие деформации и соответствующие им напряжения были зафиксированы на тензомерах Т-4 и Т-5, расположенных на расстоянии  $x/b \approx 0,15$  от края, среднее напряжение в этой области составило 0,02 МПа.

В целом закономерность, установленная теоретически, экспериментально подтвердилась. При этом фактические значения напряжений были близки к средним напряжениям. Выявлено расхождение между теоретическими и фактическими данными: теоретические максимальные значения сжимающих напряжений установлены на расстоянии  $x/b \approx 0,45$  от края, экспериментальные – в центре полки плиты.

Полученное расхождение связано с точностью замеров деформаций. В математической модели напряжения устанавливаются в пределах конечного элемента. В физической модели напряжения устанавливаются по деформациям, определенным по длине базы тензометров, которые в несколько раз больше ширины конечного элемента. Поэтому в случае совпадения теоретических и практических данных напряжения в контрольных точках будут равны средним значениям напряжений во всех конечных элементах, находящихся в пределах базы тензомера, что тождественно факту.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставляя полученные результаты с поставленной целью исследования, можно сделать выводы:

- экспериментальная и теоретическая эпюры напряжений  $\sigma_x$  хорошо согласуются друг с другом по очертанию и значениям в точках, характеризующих напряженно-деформированное состояние исследуемой плиты-оболочки;

- экспериментально подтверждено, что на нижней грани полки плиты-оболочки в центральной области 3 (см. рисунок 3) напряжения  $\sigma_x$  являются сжимающими;

- максимальные растягивающие напряжения, возникающие на нижней грани полки исследуемой плиты-оболочки, не превышают нормативного сопротивления бетона растяжению  $R_{bt, ser}$ , а максимальные сжимающие напряжения – нормативного сопротивления бетона сжатию  $R_{b, ser}$ .

Обобщая сделанные выводы, можно рекомендовать исследуемую плиту-оболочку к производству без установки горизонтальных сеток.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в получении экспериментального доказательства возможности отказа от горизонтального поперечного армирования полки, что позволит снизить трудоемкость и себестоимость производство плит-оболочек перекрытия.

Направления для дальнейших исследований в данной области видятся в решении таких задач, как:

- исследование работы плиты-оболочки в стадии предельного равновесия;
- исследование ее трещиностойкости и жесткости на всех стадиях работы;
- исследование работы плиты-оболочки с учетом сдерживания деформаций распора ее продольных контурных ребер по всей их длине.

Прогноз дальнейшего развития рассмотренных в статье вопросов видится в решении таких задач, как:

- разработка мероприятий по недопущению горизонтальных перемещений продольных контурных ребер;
- разработка рекомендаций по проектированию железобетонных плит-оболочек перекрытий, изготавливаемых по технологии безопалубочного формования;
- испытания натуральных плит-оболочек, изготавливаемых по технологии безопалубочного формования, с целью проверки разработанных рекомендаций по проектированию;
- отработка технологии изготовления плит-оболочек по технологии безопалубочного формования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровских А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных плит-оболочек // Обзорно-аналитический и научно-технический журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений». М., 2008. С.82–86.

2. Боровских А.В. К вопросу о проектировании железобетонных перекрытий зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 12(83). С. 67–70.

3. John F. Abel. The future of spatial structures // Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures. Brentwood. UK : Multi Science Publishing Co Ltd., 2011. Pp. 485–490.

4. Баранова Т.И., Сильванович Т.Г., Бормотов А.Н., Селиванов М.Ю. Реализация конструкционно-технологических особенностей железобетона при разработке новых типов панелей перекрытий // Известия вузов. Строительство. 1997. № 4. С. 7–9.

5. Копша С.П., Заикин В.А. Технология безопалубочного формования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости жилья // Технологии бетонов. 2013. № 11. С. 29–33.

6. Баранова Т.И., Сильванович Т.Г., Викторов В.Г., Бормотов А.Н. Пустотная панель покрытий производственных зданий // Известия вузов. Строительство. 1995. № 11. С. 3–6.

7. Людковский А.М., Соколов Б.С. Опыт проектирования и испытаний усиленных узлов опирания монолитных железобетонных перекрытий на колонны // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13, вып. 1 (112). С. 33–43.

8. fib Model Code for Concrete Structures 2010. Berlin : Ernst & Sohn, 2013. 402 p.

9. Коянкин А.А., Топакова О.А. Экспериментальные исследования сборно-монолитного перекрытия с преднапрягаемой арматурой // Вестник МГСУ. 2016. № 3. С. 19–25.

10. Комлев А.А., Макеев С.А., Краснощеклов Ю.В. Экспериментальные исследования монолитных и сборно-монолитных перекрытий подземных переходов с нижней сводчатой поверхностью // Вестник СибАДИ. 2017. выпуск 6 (58). С. 84–91.

11. Комлев А.А., Макеев С.А. Экспериментальные исследования работы профилированного настила арочной формы под монтажными нагрузками в перекрытиях нижней сводчатой поверхностью подземных переходов // Вестник СибАДИ. 2017. Вып. 4–5 (56–57). С. 92–101.

12. Замалиев Ф.С., Сагитов Р.А., Хайрутдинов Ш.Н. Испытание фрагмента сталежелезобетонного перекрытия на статические нагрузки // Известия КГАСУ. 2010. № 1. С. 102–105.

13. Фардиев Р.Ф., Ашрапов А.Х., Мустафин А.И. Исследование несущей способности пустотных плит перекрытия при сниженной ве-

личине опирания на ригели // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 172–177.

14. Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красинникова Н.М. Прочность и деформативность бетонной конструкции, армированной полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2(62). С. 32–41.

15. Семченков А.С., Демидов А.Р., Соколов Б.С. Испытание фрагментов Плита – ригель сборно-монолитного перекрытия каркаса «РАДИУСС» // Бетон и железобетон. 2008. № 5. С. 2–4.

16. Карякин А.А., Сонин С.А., Попп П.В., Алилуев М.В. Испытания натурального фрагмента сборно-монолитного каркаса системы «АРКОС» с плоскими перекрытиями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Строительство и архитектура». 2009. Вып. 9. С. 16–20.

## REFERENCES

1. Borovskih A.V. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnyh plit-obolochek [Study of the stress-strain state of reinforced concrete slabs-shells] // *Obzorno-analiticheskij i nauchno – tekhnicheskij zhurnal Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*, Moscow, 2008. pp.82–86 (in Russian).

2. Borovskih A.V. *K voprosu o proektirovanii zhelezobetonnyh perekrytij zdaniy* [To the question of design of reinforced concrete floors of buildings]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*, 2005; 12(83): 67–70 (in Russian).

3. John F. Abel. The future of spatial structures // Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures. Brentwood. UK : Multi Science Publishing Co Ltd., 2011. pp. 485–490.

4. Baranova T.I., Sil'vanovich T.G., Bormotov A.N., Selivanov M.YU. Realizaciya konstrukcionno-tekhnologicheskix osobennostej zhelezobetona pri razrabotke novyx tipov panelej perekrytij [Implementation of structural and technological features of reinforced concrete in the development of new types of floor panels]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 1997; 4: 7–9 (in Russian).

5. Kopsha S.P., Zaikin V.A. Tekhnologiya bezopalubochnogo formovaniya – klyuch k modernizacii promyshlennosti i snizheniyu sebestoimosti zhil'ya [Technology of formwork-

free molding is the key to the modernization of the industry and reduce the cost of housing]. *Tekhnologii betonov*, 2013; 11: 29–33 (in Russian).

6. Baranova T.I., Sil'vanovich T.G., Viktorov V.G., Bormotov A.N. Pustotnaya panel' pokrytij proizvodstvennyh zdaniy [Hollow panel coatings of industrial buildings]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 1995; 11: 3–6 (in Russian).

7. Lyudkovskij A.M., Sokolov B.S. Opyt proektirovaniya i ispytaniy usilennyh uzlov opiraniya monolitnyh zhelezobetonnyh perekrytij na kolonny [Experience in design and testing of reinforced support units of monolithic reinforced concrete slabs in columns]. *Vestnik MGSU*, 2018; Vol. 13; 1 (112): 33–43 (in Russian).

8. Model Code for Concrete Structures 2010. Berlin: Ernst & Sohn, 2013. 402 p.

9. Koyankin A.A., Topakova O.A. Eksperimental'nye issledovaniya sborno-monolitnogo perekrytiya s prednapryagaemoj armaturoj [Experimental studies of precast-monolithic slab with prestressed reinforcement]. *Vestnik MGSU*, 2016; 3: 19–25 (in Russian).

10. Komlev A.A., Makeev S.A., Krasnoshchekov YU.V. Eksperimental'nye issledovaniya monolitnyh i sborno-monolitnyh perekrytij podzemnyh perekhodov s nizhnej svodchatoj poverhnost'yu [Experimental studies of monolithic and precast-monolithic overlappings of underground passages with lower vaulted surface]. *Vestnik SibADI*, 2017; 6 (58): 84–91 (in Russian).

11. Komlev A.A., Makeev S.A. Eksperimental'nye issledovaniya raboty profilirovannogo nastila arochnoj formy pod montazhnymi nagruzkami v perekrytyyah nizhnej svodchatoj poverhnost'yu podzemnyh perekhodov [Experimental studies of the work of profiled arched flooring under installation loads in the floors of the lower vaulted surface of underground passages]. *Vestnik SibADI*, 2017; 4–5 (56–57): 92–101 (in Russian).

12. Zamaliev F.S., Sagitov R.A., Hajrutdinov SH.N. Ispytanie fragmenta stalezhelezobetonnoho perekrytiya na staticheskie nagruzki [Test fragment of steel-concrete composite slab on the static load]. *Izvestiya KGASU*, 2010; 1: 102–105 (in Russian).

13. Fardiev R.F., Ashrapov A.H., Mustafin A.I. Issledovanie nesushchej sposobnosti pustotnyh plit perekrytiya pri snizhennoj velichine opiraniya na rigeli [Study of the bearing capacity of hollow slabs with a reduced value of support on the

crossbars]. *Izvestiya KGASU*, 2014; 4(30): 172–177 (in Russian).

14. Gizdatullin A.R., Husainov R.R., Hozin V.G., Krasinnikova N.M. Prochnost' i deformativnost' betonnoj konstrukcii, armirovannoj polimerkompozitnymi sterzhnyami [Strength and deformability of a concrete structure reinforced with polymer composite rods]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 2016; 2(62): 32–41 (in Russian).

15. Semchenkov A.S., Demidov A.R., Sokolov B.S. Ispytanie fragmentov Plita – rigel' sborno-monolitnogo perekrytiya karkasa «RADIUSS» [Test of the fragments of Stove – bolt precast-monolithic ceiling of the frame «RADIUSS»]. *Beton i zhelezobeton*, 2008; 5: 2–4 (in Russian).

16. Karyakin A.A., Sonin S.A., Popp P.V., Aliluev M.V. Ispytaniya naturного fragmenta sborno-monolitnogo karkasa sistemy «ARKOS» s ploskimi perekrytyami [Tests of the full-scale fragment of the precast-monolithic frame of the «ARKOS» system with flat overlaps]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Stroitel'stvo i arhitektura»*, 2009; 9: 16–20 (in Russian).

**Поступила 08.10.2018, принята к публикации 21.06.2019.**

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

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Селиванов Антон Валерьевич – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, пр. Мира, д. 5, e-mail: ant.seliwanov@yandex.ru), ORCID 0000-0001-6073-2690.

Регер Федор Федорович – канд. с.-х. наук, доц., кафедра «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, пр. Мира, д. 5, e-mail: fedorreger@gmail.ru), ORCID 0000-0002-3288-7457.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anton V. Selivanov – Senior Lecturer, Building Structures Department, Siberian State Automobile

and Highway University (SibADI), ORCID 0000-0001-6073-2690 (644080, 5, Mira Ave., e-mail: ant.seliwanov@yandex.ru).

*Fedor F. Reger – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Building Structures Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID 0000-0002-3288-7457 (644080, 5, Mira Ave., e-mail: fedorreger@gmail.ru).*

**ВКЛАД СОАВТОРОВ**

*Селиванов Антон Валерьевич – подготовка и проведение экспериментальных исследований, обработка полученных результатов, оформление статьи. Вклад соавтора составляет 50%;*

*Регер Федор Федорович – руководство и участие в подготовке и проведении экспериментальных исследований, анализ полученных результатов, редактирование статьи. Вклад соавтора составляет 50%.*

**AUTHORS' CONTRIBUTION**

*Anton V. Selivanov – the preparation and conduction of experimental research, results procession, editing the paper. The contribution of the co-author is 50%;*

*Fedor F. Reger – management and participation in the preparation and conduction of experimental research, analysis of the results, editing the paper. The contribution of the co-author is 50%.*

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; 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](http://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](http://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](http://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 представлено на сайте журнала [vestnik.sibadi.org](http://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](http://vestnik.sibadi.org).

### 9. Библиографический список (References)

В библиографический список включаются только те источники, которые автор использовал при подготовке статьи. Оформление библиографического списка регламентируется ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 20–40 источников, но не более 50. Из них за последние 3 года – рекомендуется указать не менее 20, иностранных – не менее 15. Важно правильно оформить ссылку на источник.

Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет.

Источники указываются в конце статьи в алфавитном порядке либо в порядке упоминания в тексте статьи.

Приводится на русском языке и в латинице по образцу, представленному на сайте журнала.

**Аффилиация.** Фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, ORCID i, Scopus Author ID, ResearcherID, далее указать все места работы, должность, название организации, служебный адрес, электронная почта, телефон, e-mail. Приводится на русском и английском языках.

**Технические требования к оформлению.**

Формат А4, шрифт Arial (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный.

Поля: верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5.

Все сокращения при первом употреблении должны быть полностью расшифрованы, за исключением общепринятых терминов и математических величин.

Формулы необходимо набирать в редакторе формул Microsoft Equation. Перенос формул допускаются на знаках «плюс» и «минус», реже – на знаке «умножение». Эти знаки повторяются в начале и в конце переноса. Формулы следует нумеровать (нумерация сквозная по всей работе арабскими цифрами). Номер формулы заключают в круглые скобки у правого края страницы.

Рисунки, схемы и графики предоставляются в электронном виде включенными в текст, в стандартных графических форматах с обязательной подрисуночной подписью, и отдельными файлами с расширением (JPEG, GIF, BMP). Должны быть пронумерованы (Таблица 1 – Заголовок, Рисунок 1 – Наименование), озаглавлены (таблицы должны иметь заглавие, выравнивание по левому краю, а иллюстрации – подрисуночные подписи, выравнивание по центру). В основном тексте должны содержаться ссылки на них (на рисунке 1.....).

Рисунки и фотографии должны быть яркими и четкими, с хорошо проработанными деталями с учетом последующего уменьшения. При представлении цветных рисунков автор должен предварительно проверить их качество при использовании черно-белой печати. Отсканированные версии рисунков, схем, таблиц и формул не допускаются.

Таблицы предоставляются в редакторе Word.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

Общий порядок опубликования

Рукописи статей, подготовленные в соответствии с правилами оформления научно-исследовательской публикации и принятыми редакцией журнала международными стандартами, в электронном (через официальный сайт журнала) и бумажном виде предоставляются в редакцию журнала в комплекте:

- с экспертным заключением о возможности опубликования в открытой печати;

- лицензионным договором между ФГБОУ ВО «СибАДИ» и авторами;

При регистрации присваивается дата поступления и регистрационный номер статьи. Статьи регистрируются через электронную редакцию. Регистрация осуществляется бесплатно.

**Первичная экспертиза на соответствие требованиям и профилю журнала (модерация).** Зарегистрированные рукописи статей проходят первичную экспертизу на соответствие требованиям и профилю журнала. Началом для экспертизы рукописи статьи редакцией является дата регистрации статьи. Редакция журнала оставляет за собой право отбора присылаемых материалов. Только прошедшие первичную экспертизу рукописи статей, полностью соответствующие требованиям редакции журнала, соответствующие профилю журнала, получают статус «Принята к рассмотрению». Для них отдельно регистрируется дата приема рукописи статьи к рассмотрению.

**Рецензирование.** Принятые к рассмотрению рукописи статей направляются на слепое рецензирование для оценки их научного содержания нескольким специалистам соответствующего профиля, членам редакционной коллегии и/или редакционного совета. Экспертиза и рецензирование осуществляются бесплатно.

Решение о принятии к публикации основывается на поступивших рекомендациях рецензентов журнала. Если принято решение «рекомендовать с учетом исправления отмеченных недостатков», то автору направляются рекомендации и вопросы для исправления. Рукопись статьи, скорректированная автором, повторно направляется на рецензирование. Рукописи статей, не рекомендованные к публикации, повторно не рассматриваются. Автору рукописи направляется мотивированный отказ в публикации.

**Редакционная подготовка.** Рукописи статей, принятые к публикации, проходят редакционную подготовку к публикации – литературное редактирование и сверку данных, корректуру, форматирование, макетирование. Общий срок редакционной подготовки статьи, успешно прошедшей рецензирование, составляет 2 месяца в соответствии с периодичностью и графиком публикации выпусков. Корректура статей авторам не высылается, тем не менее вопросы, возникающие в процессе редактирования высылаются авторам для согласования.

Окончательный вариант макета статьи высылается по электронной почте автору на утверждение. На рассмотрение отводится три дня, по истечении которых в случае неполучения ответа от автора, макет автоматически считается автором одобренным и в представленном виде направляется в печать.

**Публикация.** Подготовленный к публикации макет тиражируется в типографии СибАДИ и размещается на сайте журнала в открытом бесплатном доступе. Публикация всех статей одного выпуска осуществляется единой датой.

Метаданные опубликованных статей выпуска регистрируются в РИНЦ, размещаются в библиографических сервисах и базах данных в сроки, установленные соответствующими договорами, распространяются по подписке.

#### **Контактная информация:**

e-mail: [vestnik\\_sibadi@sibadi.org](mailto:vestnik_sibadi@sibadi.org);

Почтовый адрес редакции: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. ФГБОУ ВО «СибАДИ».

Редакция научного рецензируемого журнала Вестник СибАДИ / The Russian Automobile and Highway Industry Journal, 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 / The Russian Automobile and Highway Industry Journal размещена на сайте: <http://vestnik.sibadi.org>