ВЕСТНИК МГСУ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

2015 № 5

Москва ФГБОУ ВПО «МГСУ»

СОДЕРЖАНИЕ

Семернин Д.А. «Задание» на отпуск (О важности повышения качества научного контента) 5

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Самолькина Е.Г. Дерево в современной архитектуре малых форм..... 7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Блюмин С.Л., Зверев В.В., Сотникова И.В., Сысоев А.С. Решение задачи устойчивости сжато-изгибаемых жестко опертых стержней переменной жесткости..... 18

Коянкин А.А., Митасов В.М. Экспериментальные исследования работы стыкового соединения ригеля с колонной в сборно-монолитном перекрытии 27

Хасамбиев М.В. Краевая задача для многомерного дробного дифференциального уравнения адвекции-диффузии 35

Шаманин А.Ю. Испытание на сжатие стального тонкостенного холодногнутого перфорированного профиля со стальной обшивкой..... 43

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Тер-Мартиросян А.З., Тер-Мартиросян З.Г., Чинь Туан Вьет, Лузин И.Н. Осадка и несущая способность длинной сваи 52

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ. СПЕЦИАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Мазов Ю.Н., Локтев А.А., Сычев В.П. Оценка влияния дефектов колес подвижного состава на состояние железнодорожного пути 61

VESTNIK MGSU

Основан в 2005 году, 1-й номер вышел в 2006 г.
Выходит ежемесячно

Учредители:
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ»

Выходит при научно-информационной поддержке Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), международной общественной организации «Ассоциация строительных высших учебных заведений» (АСВ)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-47141 от 3 ноября 2011 г.

Включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Индексируется в РИНЦ, UlrichsWeb Global Serials Directory, DOAJ, EBSCO, Index Copernicus

Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering

Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

Founded in 2005, 1st issue was published in 2006.
Published monthly

Founders: Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), ASV Publishing House

The Journal enjoys the academic and informational support provided by the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), International Association of Institutions of Higher Education in Civil Engineering

The Journal has been included in the list of the leading review journals and editions of the Highest Certification Committee of Ministry of Education and Science of Russian Federation in which the basic results of PhD and Doctoral Theses are to be published

Главный редактор
акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Теличенко (МГСУ)

Редакционная коллегия:
Х.Й.Х. Броуэрс (Технический университет Эйндховена, Нидерланды),
А.И. Бурханов (ВолгГАСУ),
А.А. Волков (МГСУ),
О.Е. Горячева (отв. редактор, МГСУ),
О.В. Игнатьев (РУДН),
Е.В. Королев (МГСУ),
О.И. Поддаева (МГСУ),
А.П. Пустовгар (МГСУ),
А.В. Шамшин (Университет Центрального Ланкашира, Соединенное Королевство)

Редакционный совет:
А.А. Волков (председатель),
П.А. Акимов, Ю.М. Баженов,
О.О. Егорычев, Е.А. Король, Н.С. Никитина,
В.И. Теличенко, **З.Г. Тер-Мартиросян** (МГСУ),
С.А. Амбарцумян (Концерн «МонАрх»),
А.Т. Беккер (ДВФУ, ДВРО РААСН, Владивосток),
Н.В. Баничук, С.В. Кузнецов (ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН),
Й. Вальравен (Технический университет Дельфта, Нидерланды),
Й. Вичан (Университет Жилина, Словакия),
З. Войчицки (Вроцлавский технологический университет, Польша),
М. Голицки (Институт Клокнера Чешского технического университета в Праге, Чешская Республика),
Н.П. Кошман (Ассоциация строителей России),
П. МакГи (Университет Болтона, Соединенное Королевство),
Н.П. Осмоловский (МГУ им. М.В. Ломоносова),
П.Я. Паль (Технический университет Берлина, Германия), **В.В. Петров** (СГТУ, Саратов),
Е.И. Пупырев (ГУП «МосводоканалНИИпроект»),
А.Ю. Русских (Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации),
Ю.А. Табунщиков (МАРХИ),
О.В. Токмаджян (НПУА, Армения),
В.И. Травуш (РААСН)

Адрес редакции:
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, МГСУ.
Тел./ факс +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,
e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru
Электронная версия журнала
http://vestnikmgsu.ru
ISSN 2304-6600 (Online)

Периодическое научное издание
Вестник МГСУ. 2015. № 5
Научно-технический журнал

Зав. редакцией журналов *О.В. Горячева*
Редактор *В.Я. Пация*
Корректор *А.А. Дядичева*
Верстка *А.Д. Федотов*
Перевод на английский язык *О.В. Иванова*

Подписано в печать 15.05.2015. Формат 70x108/16.
Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Гарнитура Таймс. Усл.-печ. л. 13,83. Уч.-изд. л. 12,9.
Тираж 200 экз. Заказ № 174.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет».
Издательство МИСИ — МГСУ
www.mgsu.ru, ric@mgsu.ru
(495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75.
Отпечатано в типографии Издательства МИСИ — МГСУ,
(499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Перепечатка или воспроизведение материалов номера любым способом полностью или по частям допускается только с письменного разрешения Издателя.
Распространяется по подписке.
Подписка по каталогу агентства «Роспечать».
Подписной индекс 18077 (полугодовая),
36869 (годовая)

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2015

ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Левачев С.Н., Федорова Т.С. Развитие системы мониторинга безопасности на гидротехнических сооружениях канала имени Москвы 73
Медзвелия М.Л., Боровков В.С. Коэффициент гидравлического трения ламинарных открытых потоков в гладких руслах 86

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Кириллов А.М., Завьялов М.А. Синергетический подход к моделированию физического износа инженерно-технических систем 93

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Левин Р.Ю., Масленников В.А. Влияние способа размещения топливо-раздаточных колонок на продолжительность цикла заправки автомобилей..... 103
Силка Д.Н., Уразова К.В. Поиск внутренних факторов и резервов роста строительства с учетом вклада государства 111
Фокина З.Т. Синергетические сценарии социально-экономического развития России и управление строительством..... 122

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Хайруллин Р.З. Система статистической обработки логистической информации 133

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

Иващенко А.В., Кондратьева Т.М. Проективные конфигурации на проективографических чертежах..... 141

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ

Мунчаев Ш.М. Рецензия на книгу «Великая Отечественная война в нашей памяти. К 70-летию Победы», подготовленную на кафедре истории и философии МГСУ под редакцией А.А. Волкова, Т.А. Молоковой 148
Лукманова И.Г. Рецензия на книгу «Великая Отечественная война в нашей памяти. К 70-летию Победы», научные редакторы А.А. Волков, Т.А. Молокова..... 149

Авторам..... 150

CONTENT

Semernin D.A. «Task» for the vacation (On the importance of raising the quality of the scientific content)..... 5

ARCHITECTURE AND URBAN DEVELOPMENT. RESTRUCTURING AND RESTORATION

Samol'kina E.G. Wood in the modern architecture of small forms 7

DESIGNING AND DETAILING OF BUILDING SYSTEMS. MECHANICS IN CIVIL ENGINEERING

Blyumin S.L., Zverev V.V., Sotnikova I.V., Sysoev A.S. Solving the stability problem of compressed-bendable pinned rigid rods of variable rigidity 18

Koyankin A.A., Mitasov V.M. Experimental study of the operation of the bolt joint of a bearer with a column in precast-monolithic ceiling..... 27

Khasambiev M.V. Boundary value problem for multidimensional fractional advection-dispersion equation..... 35

Shamanin A.Yu. Compression test of cold-formed steel perforated profile with steel sheathing..... 43

BEDDINGS AND FOUNDATIONS, SUBTERRANEAN STRUCTURES. SOIL MECHANICS

Ter-Martirosyan A.Z., Ter-Martirosyan Z.G., Trinh Tuan Viet, Luzin I.N. Settlement and bearing capacity of long pile..... 52

ENGINEERING RESEARCH AND EXAMINATION OF BUILDINGS. SPECIAL-PURPOSE CONSTRUCTION

Mazov Yu.N., Loktev A.A., Sychev V.P. Assessing the influence of wheel defects of a rolling stock on railway tracks..... 61

HYDRAULICS. ENGINEERING HYDROLOGY. HYDRAULIC ENGINEERING

Levachev S.N., Fedorova T.S. Development of the safety monitoring system of hydraulic structures of the Moscow canal 73

Medzveliya M.L., Borovkov V.S. The coefficient of hydraulic friction of laminar open flows in smooth channels..... 86

TRANSPORTATION SYSTEMS

Kirillov A.M., Zav'yalov M.A. Synergetic approach to simulation of physical wear of engineering technical systems..... 93

Editor-in-chief
Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), DSc, Prof. **V.I. Telichenko**, (MGSU)

Editorial board:
H.J.H. Brouwers (Eindhoven University of Technology, Netherlands),
A.I. Burkhanov (VSUCE, Volgograd, Russian Federation),
O.E. Goryacheva (Executive Editor, MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.V. Ignat'ev (PFUR, Moscow, Russian Federation),
E.V. Korolev (MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.I. Poddaeva (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.P. Pustovgar (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.V. Shamshin (University of Central Lancashire, Preston, United Kingdom),
A.A. Volkov (MGSU, Moscow, Russian Federation)

Editorial council:
A.A. Volkov (Chairman),
P.A. Akimov, **Yu.M. Bazhenov,**
O.O. Egorychev, E.A. Korol, N.S. Nikitina,
V.I. Telichenko, Z.G. Ter-Martirosyan
(MGSU, Moscow, Russian Federation),
S.A. Ambartsumyan (MonArch Group, Moscow, Russian Federation),
A.T. Bekker (Far Eastern Federal University, FERD RAASN, Vladivostok, Russian Federation),
N.V. Banichuk, S.V. Kuznetsov (A. Ishlinsky Institite for Problems in Mechanics RAS, Moscow, Russian Federation),
M. Holický (Czech Technical University in Prague, Klokner Institut, Czech Republic),
N.P. Koshman (Builders Association of Russia, Moscow, Russian Federation),
P. McGhee (University of Bolton, United Kingdom),
N.P. Osmolovskiy (Lomonosov Moscow State University, Russian Federation),
P.J. Pahl (Technical University of Berlin, Germany),
V.V. Petrov (Saratov State Technical University, Russian Federation),
E.I. Pupyrev (MosvodokanalNIIproekt, Moscow, Russian Federation),
A. Yu. Russkikh (State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation),
Yu.A. Tabunshchikov (Moscow Institute of Architecture (State Academy), Russian Federation),
O.V. Tokmadzhyan (National Polytechnic University of Armenia),
V.I. Travush (Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russian Federation),
J. Vičan (University of Zilina, Slovakia),
J. Walraven (Delft University of Technology, Netherlands)
Z. Wójcicki (Wrocław University of Technology, Poland)

Address:
MGSU, 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation
Tel./ fax +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,
e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru
online version of the journal
http://vestnikmgsu.ru/
ISSN 2304-6600 (Online)

Editorial team of issues:
Head of journal editorial office *O.V. Goryacheva*
Editor *V.Ya. Patsiya*
Corrector *A.A. Dyadicheva*
Layout *A.D. Fedotov*
Russian-English translation *O.V. Ivanova*

Reprint or reproduction of material numbers by any means in whole or in part is permitted only with prior written permission of the publisher – MGSU.
Distributed by subscription

ECONOMICS, MANAGEMENT AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION PROCESSES

Levin R.Yu., Maslennikov V.A. The influence of the placement method of fuel dispensers on the refueling cycle of vehicles 103
Silka D.N., Urazova K.V. Search of inner factors and reserves of construction development with account for the state contribution..... 111
Fokina Z.T. Synergetic scenarios of social and economic development of Russia and construction management..... 122

INFORMATION SYSTEMS AND LOGISTICS IN CIVIL ENGINEERING

Khayrullin R.Z. The system for statistical analysis of logistic information..... 133

ENGINEERING GEOMETRY AND COMPUTER GRAPHICS

Ivashchenko A.V., Kondrat'eva T.M. Projective configurations in projective geometrical drawings 141

BRIEF MESSAGES. DISCUSSIONS AND REVIEWS

Munchaev Sh.M. Review on the book "The Great Patriotic War in our memory. Dedicated to the 70th anniversary of the Victory", prepared on the Department of History and Philosophy of MGSU under editorship of A.A. Volkov, T.A. Molokova 148
Lukmanova I.G. Review on the book "The Great Patriotic War in our memory. Dedicated to the 70th anniversary of the Victory", science editors A.A. Volkov, T.A. Molokova 149

For authors 150



«ЗАДАНИЕ» НА ОТПУСК (О важности повышения качества научного контента)

За окном май и совсем скоро настанет время творческого отпуска для большинства научно-педагогических работников. Это период, когда есть достаточно времени для осмысления и обобщения содержательных результатов научной и консультационной работы, проводимой с обучающимися по программам бакалавриата, магистратуры и аспирантуры, а также работы, проводимой в рамках научной и научно-производственной деятельности вуза. К основным формам такого осмысления, безусловно, относится научная статья.

Сегодня мы живем в системе показателей эффективности, по которым оценивается личная эффективность каждого научно-педагогического работника. Одним из таких показателей является количество опубликованных статей. Качество же статьи косвенно влияет на другие показатели личной эффективности: индекс Хирша (индекс цитируемости автора), импакт-фактор (индекс цитируемости журнала). Решение проблемы качества научных публикаций — это задача, которая стоит перед университетом в целом. Задачу повышения одного из основных показателей качества — цитируемости статьи другими учеными — можно решать двумя способами: максимально информировать своих коллег об опубликованных статьях или находиться в авангарде своего научного направления, тем самым притягивая интерес к своим работам. Первый способ — технический, второй — содержательный. Лучше всего использовать и тот, и другой.

Современная наука чаще всего рождается на «стыке» различных направлений и в первую очередь должна быть востребованной, а значит практикоориентируемой, поэтому в ряду задач Института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости МГСУ и входящих в него кафедр стоит поиск тем работ, связанных с научными направлениями, реализуемыми другими подразделениями в университете. Сегодня укрупненно можно обозначить пять векторов: внедрение современных строительных технологий, внедрение информационных систем в строительстве, оптимизация стоимости строительства, управление жизненным циклом строительных объектов и их территорий, совершенствование нормативно-правовой базы в строительстве.

Научная деятельность, как и любая другая, требует планирования, и сегодня самое время обозначить для себя вектор, в рамках которого вы собираетесь развивать направление, в котором уже работаете. Важно обсудить будущую тематику со своими коллегами в части поиска совместных идей, предложить совместную работу по написанию статей, сформулировать научную задачу.

Коллеги, желаю Вам хорошо подготовиться к предстоящему творческому отпуску, чтобы по его окончании вернуться с новыми идеями, готовыми к эффективному взаимодействию в научной среде университета и в масштабах всего научного сообщества.

С уважением, канд. экон. наук,
директор ИЭУИС МГСУ Д.А. Семернин

«TASK» FOR THE VACATION
(On the importance of raising the quality of the scientific content)

It is now May outside and soon the time will come for sabbatical for most of the university academic staff. This is the period, when we have enough time for considering and generalizing the informative results of scientific and consulting work with the students of Bachelor, Master and postgraduate programs, as well as the work in frames of scientific and production activity of the university. Writing scientific articles is one of the main forms of such consideration.

Today we are living in the system of efficiency indicators, according to which personal efficiency of each academic is measured. One of such indicators is the quantity of the published articles. The quality of an article has a knock-on effect on other indicators of personal efficiency: Hirsh index (citation index of an author), impact factor (citation index of a journal). Solving the problem of scientific publications' quality is a task facing the university in general. The aim of increasing one of the main quality indicators — citing by other scholars — may be solved by two methods: maximally informing the colleagues on the published articles or being in advance-guard of the scientific field, thus attracting interest to the works. The first method is technical, and the second — content-related. The best way is to use the both methods.

The contemporary science is often born at the intersection of disciplines, and, firstly, it should be in demand, that means practice-oriented, that's why one of the tasks of the Institute of Economy, Management and Information systems in Construction and Real Estate of the MGSU and the affiliated departments is search for the topics related to the scientific fields implemented by other subdivisions of the university. Today we can broadly indicate five vectors: implementation of modern construction technologies, implementation of information systems in construction, optimization of the construction cost, management of construction objects life circle ad their territory, advancement of regulatory framework in construction.

The scientific activity as any other activity needs planning, and today is the best moment to choose the vector, in frames of which you are planning to develop your field. It is important to discuss the future subject with your colleagues in terms of searching for joint ideas, to offer the joint work on articles, formulate the scientific task.

Dear colleagues, I wish you to prepare for the future vacation, so that after it you would return with new ideas, ready for efficient interaction in the university scientific environment.

Respectfully yours, Candidate of Economical Sciences,
director, Institute of Economy, Management and Information
systems in Construction and Real Estate MGSU D.A. Semernin

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

УДК 721.012:624.011.1

Е.Г. Самолькина
ФГБОУ ВПО «ННГАСУ»

ДЕРЕВО В СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЕ МАЛЫХ ФОРМ

Дан обзор архитектуры малых форм, выполненных из дерева. Приведен анализ основ применения малых архитектурных форм, определена их роль и место в архитектурно-пространственной среде. Показано, что малые архитектурные формы из дерева создают наиболее комфортную, эмоционально ориентированную среду, гармонично взаимодействующую с человеком. На конкретных примерах выявлены современные тенденции формирования малых архитектурных форм из дерева.

Ключевые слова: дерево, древесина, природные материалы, малые архитектурные формы, городская среда.

Современный мир диктует жесткие условия, вовлекая человека в непрерывный процесс изменения среды. Активное строительство, уплотнение городской застройки стремительно преобразуют окружающую среду, создавая новое архитектурное пространство, интенсивно влияющее на человека. В связи с этим в городской среде остро стоит вопрос благоустройства города, формирующего комфортную среду для полноценной жизни человека. Комфортность городской среды определяется сложным взаимодействием целого ряда природных и антропогенных факторов. Не ставя перед собой в настоящей статье задачу их комплексного анализа, отметим, что архитектурные объекты и элементы дизайна архитектурной среды в сочетании с природными характеристиками оказывают существенное влияние на восприятие среды в целом. При этом ярким компонентом визуального восприятия, делающим городское пространство эстетически привлекательным, являются малые архитектурные формы [1].

Малые архитектурные формы — это сооружения и устройства, обладающие несложными, но самостоятельными функциями, дополняющие архитектуру городских зданий, сооружений, парков, площадей и улиц и являющиеся элементами их благоустройства [2]. Малой архитектуре в России всегда отводилась особая роль. Воспринимаясь в контексте пространства, порождая при этом определенное настроение и эмоции, малые формы вносили разнообразие в архитектурную среду, делая ее эстетически привлекательной. Впервые вопрос о направленной градостроительной политике в области благоустройства городов был поставлен в 1921 г., когда проходил Всероссийский съезд по оздоровлению населенных мест в Москве. В резолюциях съезда берет начало общий градостроительный подход, заключавшийся в неразрывности системы планировки города, его архитектурного облика и благоустройства [3]. Архитектурными мастерскими разрабатывались типовые проекты малых форм с рекомендациями по благоустройству, что помогало при незначительных за-

© Самолькина Е.Г., 2015

тратах вносить индивидуальные черты в городскую застройку. В настоящее время благоустройство городов перешло на новый уровень, став более масштабным, капиталоемким. Главные требования, предъявляемые к малым архитектурным формам, сводятся к созданию единого гармоничного пространства, слиянию архитектуры с природными элементами. Наиболее гармоничное восприятие малых форм в архитектурной среде достигается с помощью использования естественных строительных материалов. Применение природных материалов в городских условиях олицетворяет природу, создает комфортную среду близкую человеку психологически [4].

Важным фактором является и то, что дерево — материал традиционный, подвигающий на самодеятельное (не всегда эстетически выверенное) творчество, поэтому для формирования архитектурной среды города так важна профессиональная работа архитектора и дизайнера с этим материалом.

«По А. Красовскому, первичные очертания объекта определяются двумя факторами: его назначением и конструкцией. Но это не может удовлетворить «эстетической потребности человека разнообразить свои впечатления», которая решается самыми разными методами, в том числе и самодеятельными. Порой это таит опасность появления на улицах образцов самодеятельного творчества плохого тона. И тогда профессионал, используя высокие технологии, имитирует рукотворность, нетехнологичность с целью быть до конца понятым в своем творчестве» [5].

В настоящее время повысился интерес к простым архитектурным формам, выполненным из дерева — традиционного и экологичного строительного материала [6]. Дерево обладает несомненными преимуществами перед другими природными материалами. Абсолютная экологичность, уникальные конструктивные качества, выразительные возможности материала и его способность формировать комфортную среду, гармонично сочетаясь с другими материалами, гарантируют дереву большую востребованность в современной архитектуре в странах с различными природно-климатическими характеристиками. Два главных недостатка материала: способность к гниению и горючесть, снижающие конкурентоспособность данного материала, успешно решаются с помощью усовершенствованных технологий обработки древесины, пропитки огнезащитными и биозащитными составами. Новые способы обработки вывели древесину на новый уровень, раскрыв перед архитекторами недоступное ранее богатство современных конструктивных и эстетических решений [7].

В архитектуре малых форм древесина применяется повсеместно: на территориях жилых кварталов, в парковых зонах и зонах отдыха, на территориях офисно-коммерческой застройки, в дорожной среде и т.д. Ведущая роль в формировании общественного пространства принадлежит малым сооружениям различного функционального назначения, таким как скамейки, беседки, навесы, спортивные и детские игровые павильоны и комплексы.

Объекты игрового и спортивного назначения из древесины могут выступать как композиционный элемент коллективного пространства, так и частного, расположенного вблизи мест проживания. Архитектурное пространство, создаваемое для детей, должно отвечать требованиям безопасности и одновременно содействовать активной творческой игре.

«Игра важна для ребенка. Она положительно влияет на его социальное развитие: учит находиться в команде, формирует эмоциональную устойчивость и помогает выстраивать взаимоотношения» [8].

Детские игровые комплексы, оформленные таким образом, способствуют развитию у детей творческих способностей и фантазии [9]. Игровая форма развлечений на детских площадках, комплектуемых горками, качелями, песочницами, лесенками, превращает их в небольшие тренировочные комплексы. Малые архитектурные формы создаются в виде сказочных замков и теремков, космических и морских кораблей, машин и фигур животных, повышая привлекательность игровых зон (рис. 1. *а*, *б*). Нередко в архитектурных формах, выполненных из дерева, просматривается обращение к национальным фольклорным традициям (рис. 1, *в*).



а *б* *в*

Рис. 1. Примеры малых архитектурных форм: *а* — в парке искусств «Музеон», г. Москва; *б* — парке культуры и отдыха им. М. Горького, г. Москва; *в* — гостиничном комплексе «Пушкарская Слобода», г. Суздаль

«Процесс проектирования и архитектурных, и садово-парковых объектов неразрывно связан, с одной стороны, с математическими, физическими, биологическими, композиционными и другими закономерностями, с другой стороны, с психологией восприятия объема и пространства, с символами, образами, воображением, фантазией. Совмещение, казалось бы, несовместимых вещей — холодного расчета и творческого порыва — происходит благодаря единству информационных кодов: и математика, и композиция, и психология, и семиотика, в частности, семантика, — фундаментальные научные знания, которые лежат в основе проектирования, как раз своей глубиной и давая простор творчеству» [10].

Единство творческого подхода и фундаментальных научных знаний по теории архитектурной композиции лежит в основе проектирования и таких малых архитектурных форм, как беседки, навесы и павильоны, мосты. Простые и выразительные формы успешно применяют в качестве объектов внешнего благоустройства.

Деревянные беседки, навесы и перголы служат самостоятельным композиционным узлом и важным декоративным элементом пространственной среды (рис. 2) [11]. Небольшие отдельно стоящие сооружения размещают, как правило, в парковых зонах, предназначенных для кратковременного комфортного отдыха на природе, а также защиты от солнца и атмосферных осадков. Основной отличительной чертой беседки от навеса является ее конструктивное решение, построенное на формировании более закрытого внутреннего пространства. Для данных архитектурных форм наиболее характерны простые геометриче-

ские формы, выполненные из бруса или бревна. На основе клееных деревянных конструкций создаются объекты разнообразных форм: от простых геометрических до сложных криволинейных.



а *б* *в*

Рис. 2. Беседка, р-он Марфино, г. Москва (*а*), пергола в ЦПКиО им. М. Горького, г. Москва (*б*) и навес в ЦПКиО им. М. Горького, г. Москва (*в*)

Павильон относится к той группе малых архитектурных форм, в которых равноценно сочетаются функциональная роль и декоративное начало (рис. 3). Небольшие архитектурные сооружения из облегченных конструкций формируют композиционную структуру городских и садово-парковых ансамблей, одновременно, выполняя разнообразные функции. Деревянные павильоны предназначены для формирования зон комфортного отдыха, а также для выставочной, образовательной, предпринимательской деятельности и др. Организация подобных объектов особенно актуальна в условиях необходимости обеспечения возможностей досуга, соответствующего запросам различных возрастных групп.



а *б*

Рис. 3. Малые архитектурные формы: *а* — павильон «Школа», парк искусств «Музеон», г. Москва [11]; *б* — шахматный клуб, ЦПКиО им. М. Горького, г. Москва [12]

Особое значение в создании выразительного облика городской среды заслуживают малые архитектурные формы, обладающие коммуникационной функцией. Так, деревянные мосты могут служить элементом пешеходной зоны, одновременно выступая ориентиром, указывающим направление движения (рис. 4). Мосты могут выполнять функцию смотровой площадки или играть исключительно декоративную роль, построенную на визуальном восприятии пространства. Архитектурные украшения деревянных мостов, формируемые, как правило, перильными ограждениями и осветительными приборами, лаконичны. Неповторимый художественный образ создается ритмической организацией конструктивных форм, чередованием элементов и интервалов между ними.

Отличительным признаком удачного решения моста является ясная, четкая форма сооружения, когда даже неискушенный в тонкостях архитектуры зритель чувствует органичность решения, дающего единый и цельный образ [13].



а *б*

Рис. 4. Деревянные мосты: *а* — в пос. Гвардейское Выборгского р-она Ленинградской обл. [14]; *б* — в с. Большое Болдино Нижегородской обл.

Малые архитектурные формы, предназначенные для кратковременного отдыха, играют не меньшую роль в организации коллективного пространства. Деревянные лавки и скамьи вносят разнообразие в городскую среду, добавляя ей эстетическое и функциональное значения (рис. 5, *а*). Выразительность малых форм во многом достигается выбором природного материала, способного в любом контексте гармонично взаимодействовать с окружением. Одновременно на примере данных архитектурных форм все активнее можно проследить тенденции преобразования малых архитектурных форм в арт-объекты (рис. 5, *б*, *в*). На смену однотипным архитектурным формам приходят объекты, выступающие средовой доминантой, объединяющей людей. Он создается в основном не как функциональный объект, а именно как предмет, в который вложена идея и душа творца. Арт-объекты наполняют пространство города новым содержанием — единением техногенного общества с живой природой. Они служат нитью, которая связывает человека со всеми атрибутами городской среды: архитектурой, дизайном, ландшафтом [15].



а *б* *в*

Рис. 5. Малые архитектурные формы, предназначенные для кратковременного отдыха: *а* — в сквере в Великом Новгороде; *б*, *в* — арт-объекты в саду «Эрмитаж», г. Москва [16]

В дорожной среде малые архитектурные формы представлены площадками отдыха, автобусными павильонами, а также отдельно стоящими элементами. Малые архитектурные формы в дорожной среде не являются основным звеном между человеком и застройкой. Здесь, как правило, они располагаются

в ландшафтной среде. И поэтому основными задачами при проектировании таких объектов являются выполнение функциональных требований и их взаимосвязи с элементами ландшафта [17].

Важным фактором безопасности и качества дорожной среды является обустройство автомагистралей площадками отдыха. Специфика сооружений направлена на создание организованной среды, предназначенной для комфортного времяпрепровождения.

Архитектура малых форм отражает стремление к смене обстановки во время отдыха, что выражается в архитектурных формах, нередко, заимствованных в народном зодчестве. Использование фольклорных и строительных традиций в дорожной среде — одна из основных тенденций, проявляемых к архитектуре малых форм. Такие элементы формируют гармоничное пространство, приближая человека к природе [18].

Тенденция заимствования традиций получила широкое применение в отдельно стоящих малых архитектурных элементах, играющих самостоятельную композиционную роль. Обустройство дорожно-транспортной инфраструктуры с помощью архитектурных элементов направлено на создание визуальных акцентов, помогающих ориентироваться человеку в пространстве. Применение дерева в объектах, несущих информационно-знаковую роль, открывает широкие возможности оформления. Элементы малой архитектуры тонируют, красят, украшают резьбой, оформляют скульптурой, изображающей сказочных и мифических героев (рис. 6).



а *б* *в*

Рис. 6. Малые архитектурные элементы дорожной среды в Пензенской обл.

В городской среде автобусные остановки являются своеобразным ориентиром, расставляя визуальные акценты в пространстве улиц. Проектирование, казалось бы, таких простых объектов, как остановки общественного транспорта имеет ряд своих особенностей: данные малые архитектурные формы должны не только отвечать соответствующим техническим требованиям и своему функциональному назначению, но и иметь красивый внешний облик и гармонировать с окружающей средой [19]. Автобусные павильоны в России служат в большей степени утилитарным целям, зачастую, исключая эстетическое начало. Остановки чаще всего возводят из металла, поликарбоната и закаленного стекла. Конструкции из дерева наиболее часто применяют в периферийных районах страны. Деревянные автобусные павильоны обладают большей эстетичностью, гармонично вписываясь в природный ландшафт, создают особую атмосферу дорожной среды (рис. 7).

В последнее время широкую популярность приобретают фестивали свободного творчества, в рамках которых создается большое количество малых архитектурных форм. Так, участники широко известных ежегодных отечественных фестивалей «Архстояние» и «Города» соревнуются в разработке и строительстве арт-объектов из естественных материалов на заданную тему — каждое произведение призвано красноречиво представить концепцию авторов [20]. Оригинальные объекты интерпретируют пространство, формируют новое восприятие привычной городской среды.



а *б*

Рис. 7. Автобусные остановки: *а* — в Заокском р-не Тульской обл. [11]; *б* — Нижегородской обл. [11]

Архитектурно-пространственная среда, организованная малой архитектурой, определяется широким набором специфических элементов, формирующих индивидуальные черты архитектурного ландшафта. Малые архитектурные формы из дерева преобразуют пространство, создавая комфортную, эмоционально ориентированную среду, гармонично взаимодействующую с человеком. В архитектуре современных деревянных малых форм отчетливо прослеживаются два направления. В первом просматривается стремление уйти от скучных однотипных форм, преобразуя малые архитектурные формы в арт-объекты, представляющие не только материальную, но и художественную ценность.

Второе направление базируется на многовековой практике народного творчества. Формировавшиеся столетиями национальные традиции, народная культура, в полной мере отвечают художественным вкусам современного общества. Подводя итоги, следует отметить, что при современных технологиях, при наличии большого спектра композитных материалов, применение дерева в архитектуре малых форм является универсальным решением, позволяющим формировать экологический каркас городской среды, что особенно важно при решении проблем современного города.

Библиографический список

1. *Stiles R.* Urban spaces — enhancing the attractiveness and quality of the urban environment. Vienna University of Technology, 2009. 86 p.

2. *Свидерский В.М.* Малые архитектурные формы : Ограды, фонари, вазы, скамьи / под общ. ред. А.М. Касьянова. Киев : Изд-во Академии архитектуры Украинской ССР, 1953. 216 с.

3. *Лемытская Д.Е., Харлантов Т.В.* Опыт применения малых архитектурных форм в жилой застройке 1930—1950-х годов (На примере исторических городов Красноярского края) // Архитектон : известия вузов. 2011. № 34 (Приложение). Режим доступа: http://archvuz.ru/2011_22/38. Дата обращения: 22.10.2014.

4. *Rottle Nancy, Yocom Ken.* Basics Landscape Architecture 02: Ecological Design. AVA Publishing (UK) Ltd. 2011. 178 p.

5. *Гельфонд А.Л.* Архитектурное проектирование общественных пространств. Н. Новгород : ННГАСУ, 2013. 265 с.

6. *Sevan O.* Small Forms of Wooden Architecture of the Russian North: Fences, Gates, Wicket Doors and Retaining Walls // Project Baikal. 2013. No. 36. Режим доступа:http://www.projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/137. Дата обращения: 22.10.2014.

7. *Орешко А.Н.* Применение дерева в архитектуре как способ гуманизации городской среды // Архитектон : известия вузов. 2009. № 26 (Приложение). Режим доступа: http://archvuz.ru/2009_22/5. Дата обращения: 05.03.2015.

8. *Wolley H.* Urban open spaces. London: Spon Press, 2003. 260 p.

9. *Мавликаева Г.С.* Особенности игрового пространства в современной урбанизированной среде // Архитектон : известия вузов. 2012. № 38 (Приложение). Режим доступа: http://archvuz.ru/2012_22/9. Дата обращения: 22.10.2014.

10. *Гончарова Н.С.* Садово-парковая семантика — ключ для решения проблем образности и эмоциональной насыщенности объектов ландшафтной архитектуры // Архитектон : известия вузов. 2004. № 7. Режим доступа: http://archvuz.ru/2004_2/15. Дата обращения: 22.10.2014.

11. Новое деревянное // АРХИWOOD. Режим доступа: http://www.archiwood.ru/new_wood/. Дата обращения: 21.10.2014.

12. АРХИWOOD: Каталог премии 2012. Екатеринбург : Астер-Ек, 2012. 128 с.

13. *Иванов Г.П., Ворошилин С.И., Плетнев М.В., Коковихин И.Ю., Фомин Н.И.* Современные пешеходные мосты // Архитектон : известия вузов. 2009. № 25. Режим доступа: http://archvuz.ru/2009_1/4. Дата обращения: 22.10.2014.

14. АРХИWOOD: Каталог премии 2013. Екатеринбург : ОАО ИПП «Уральский рабочий», 2013. 128 с.

15. *Курочкин В.А.* Экологическая тематика в городском арт-дизайне // Архитектон : известия вузов. 2013. № 42. Режим доступа: http://archvuz.ru/2013_2/16. Дата обращения: 22.10.2014.

16. Конкурс для молодых художников и дизайнеров на лучшее место для поцелуев от Martini Art Club // Архимир. Режим доступа: http://www.arhimir.ru/blog/3246.html. Дата обращения: 21.10.2014.

17. *Кикоть Д.В., Козыренко Н.Е.* Дизайн городской инфраструктуры // Новые идеи нового века : материалы Одиннадцатой Междунар. науч. конф. ИАС ТОГУ: в 2-х т. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. Т. 1. С. 490—492.

18. *McHarg Ian L.* Design with Nature. Garden City, New York : John Wiley & Sons Inc., 1992. 198 p.

19. *Лахтин К.И., Симонова И.Н., Симонов С.И.* Основные принципы проектирования остановок общественного транспорта // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. 2013. № 41. С. 206—213.

20. *Дуцев М.В.* Архитектурно-художественное формирование открытых городских пространств (на примере европейских городов) // Архитектон : известия вузов. 2012. № 40. Режим доступа: http://archvuz.ru/2012_4/4. Дата обращения: 22.10.2014.

Поступила в редакцию в феврале 2015 г.

Об авторе: **Самолькина Елена Григорьевна** — аспирант кафедры архитектурного проектирования, **Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ФГБОУ ВПО «ННГАСУ»)**, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, ooo-com.FORT@mail.ru.

Для цитирования: *Самолькина Е.Г.* Дерево в современной архитектуре малых форм // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 7—17.

E.G. Samol'kina

WOOD IN THE MODERN ARCHITECTURE OF SMALL FORMS

The modern world dictates severe conditions, involving people in a continuous process of changes in the environment. Active building and construction work, urban densification are rapidly transforming environment, creating a new architectural space with intense impact on people. In this regard, there is much tension around the issue of provision of urban amenities, forming comfortable environment for a full human life. The comfort of the urban environment is determined by a set of visual perception of the constituent elements of this environment: architecture, design, landscape and their harmonious unity with nature. A remarkable component of visual perception, making urban space aesthetically appealing, is small architecture.

Small architecture in Russia has always played a special role. Being perceived in the context of space, creating at the same time a certain mood and emotions, small forms diversified architectural environment, making it aesthetically appealing. The question about the direction of urban policy in the field of provision of urban amenities was made in 1921, when the first Congress on improvement of populated areas took place. With this legislation originated overall urban development approach as inseparable system layout of the city, its architectural appearance and landscaping. Architectural workshops developed model projects of small forms with recommendations for improvement, which helped to inexpensively create individual features in urban development. At present, the provision of urban amenities have moved to a new level, becoming more grand-scale, capital-intensive.

The main requirements for small architectural forms are to create a harmonious space, the fusion of architecture with the natural elements. The most harmonious perception of small architectural forms in the environment is achieved through the use of natural building materials. The use of natural materials in urban environment represents nature, creates a comfortable environment psychologically close to a person.

Wood, among other natural materials, has an undoubted advantage. Absolute compatibility, unique design quality, expressive possibilities of the material and its ability to form a comfortable living environment, harmoniously combined with other materials, provide greater demand for wood in modern architecture.

In the architecture of small forms wood is used everywhere: on the territories of residential quarters, parks and recreation areas, areas of office and commercial development, road environment, etc. A leading role in shaping the public space belongs to small structures for various functional purposes, such as benches, gazebos, sheds, sports facilities, children's playgrounds.

In the modern wooden architecture of small forms two directions are clearly traced. In the first one there is the desire to escape from the boring similar forms, transforming small architectural forms in art objects representing not only material, but also artistic value. The second direction is based on the centuries-old practice of folk art. Having been formed for centuries folk culture and national traditions fully meet the artistic tastes of the modern society. Summing up, it should be noted that the use of wood in architecture of small forms is a universal solution to shape the ecological framework of the urban environment, which is especially important in solving the problems of the modern city.

Key words: tree, wood, natural materials, small architectural forms, urban environment.

References

1. Stiles R. Urban Spaces — Enhancing the Attractiveness and Quality of the Urban Environment. Vienna University of Technology, 2009, 86 p.

2. Sviderskiy V.M. *Malye arkhitekturnye formy : Ogrady, fonari, vazy, skam'i* [Small Architectural Forms : Fencing, Lamps, Vases, Benches]. Kiev, Izdatel'stvo Akademii arkhitektury Ukrainskoy SSR Publ., 1953, 216 p. (In Russian)

3. Lemytskaya D.E., Kharlantov T.V. Opyt primeneniya malykh arkhitekturnykh form v zhiloy zastroyke 1930—1950-kh godov (Na primere istoricheskikh gorodov Krasnoyarskogo kraya) [Experience in the Use of Small Architectural Forms in Residential Areas 1930—1950-les (On the Example of the Historical Cities of the Krasnoyarsk Territory)]. *Arkhitekton : izvestiya vuzov* [Architecton: Proceedings of Higher Education]. 2011, no. 34 (Appendix). Available at: http://archvuz.ru/2011_22/38. Date of access: 22.10.2014. (In Russian)

4. Rottle Nancy, Yocom Ken. Basics Landscape Architecture 02: Ecological Design. AVA Publishing (UK) Ltd., 2011, 178 p.

5. Gel'fond A.L. *Arkhitekturnoe proektirovanie obshchestvennykh prostranstv* [Architectural Design of Public Spaces]. N. Novgorod, NNGASU Publ., 2013, 265 p. (In Russian)

6. Sevan O. Small Forms of Wooden Architecture of the Russian North: Fences, Gates, Wicket Doors and Retaining Walls. Project Baikal. 2013, no. 36. Available at: http://www.projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/137. Date of access: 22.10.2014.

7. Oreshko A.N. Primenenie dereva v arkhitekture kak sposob gumanizatsii gorodskoy sredy [The Use of Wood in Architecture as a Way of Humanization of Urban Environment]. *Arkhitekton : izvestiya vuzov* [Architecton : Proceedings of Higher Education]. 2009, no. 26 (Appendix). Available at: http://archvuz.ru/2009_22/5. Date of access: 05.03.2015. (In Russian)

8. Wolley H. Urban Open Spaces. London, Spon Press, 2003, 260 p.

9. Mavlikaeva G.S. Osobennosti igrovogo prostranstva v sovremennoy urbanizirovannoy srede [Features of Player Space in Modern Urbanized Environment]. *Arkhitekton : izvestiya vuzov* [Architecton : Proceedings of Higher Education]. 2012, no. 38 (Appendix). Available at: http://archvuz.ru/2012_22/9. Date of access: 22.10.2014. (In Russian)

10. Goncharova N.S. Sadovo-parkovaya semantika — klyuch dlya resheniya problem obraznosti i emotsional'noy nasyshchennosti ob"ektov landshaftnoy arkhitektury [Gardening Semantics — the Key to Solve the Problems of Imagery and Emotional Richness of Landscape Architecture]. *Arkhitekton : izvestiya vuzov* [Architecton : Proceedings of Higher Education]. 2004, no. 7. Available at: http://archvuz.ru/2004_2/15. Date of access: 22.10.2014. (In Russian)

11. Novoe derevyannoe [New Wooden]. Archiwood. Available at: http://www.archiwood.ru/new_wood/. Date of access: 21.10.2014. (In Russian)

12. *ARKhIWOOD: Katalog premii 2012* [Archiwood. Award Catalogue 2012]. Ekaterinburg, Aster-Ek Publ., 2012, 128 p. (In Russian)

13. Ivanov G.P., Voroshilin S.I., Pletnev M.V., Kokovikhin I.Yu., Fomin N.I. Sovremennye peshekhodnye mosty [Modern Footbridges]. *Arkhitekton : izvestiya vuzov* [Architecton : Proceedings of Higher Education]. 2009, no. 25. Available at: http://archvuz.ru/2009_1/4. Date of access: 22.10.2014. (In Russian)

14. *ARKhIWOOD: Katalog premii 2013* [Archiwood. Award Catalogue 2013]. Ekaterinburg, OAO IPP «Ural'skiy rabochiy» Publ., 2013, 128 p. (In Russian)

15. Kurochkin V.A. Ekologicheskaya tematika v gorodskom art-dizayne [Ecological Theme in City Art Design]. *Arkhitekton : izvestiya vuzov* [Architecton : Proceedings of Higher Education]. 2013, no. 42. Available at: http://archvuz.ru/2013_2/16. Date of access: 22.10.2014. (In Russian)

16. Konkurs dlya molodykh khudozhnikov i dizaynerov na luchshee mesto dlya potseluev ot Martini Art Club [Competition for Young Artists and Designers for the Best Place for Kisses from Martini Art Club]. Arhimir web site. Available at: http://www.arhimir.ru/blog/3246.html. Date of access: 21.10.2014. (In Russian)

17. Kikot' D.V., Kozyrenko N.E. Dizayn gorodskoy infrastruktury [Design of Urban Infrastructure]. *Novye idei novogo veka : materialy Odinnadtsatoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii IAS TOGU: v 2-kh tomakh* [New Ideas of the New Century : the International Scientific Conference Proceedings of FAD PNU: in Two Volumes]. Khabarovsk, Izdatel'stvo Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta Publ., 2011, vol. 1, pp. 490—492. (In Russian)

18. McHarg Ian L. Design with Nature. Garden City, New York, John Wiley & Sons Inc., 1992, 198 p.

19. Lakhtin K.I., Simonova I.N., Simonov S.I. Osnovnye printsipy proektirovaniya ostanovok obshchestvennogo transporta [The Basic Principles of Public Transport Stops Designing]. *Sbornik nauchnykh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta* [Don-STU Scientific Works Collection]. 2013, no. 41, pp. 206—213. (In Russian)

20. Dutsev M.V. Arkhitekturno-khudozhestvennoe formirovanie otkrytykh gorodskikh prostranstv (na primere evropeyskikh gorodov) [Architectural and Artistic Formation of Urban Open Spaces (on the Example European cities)]. *Arkhitekton : izvestiya vuzov* [Architecton : Proceedings of Higher Education]. 2012, no. 40. Available at: http://archvuz.ru/2012_4/4. Date of access: 22.10.2014. (In Russian)

About the author: **Samol'kina Elena Grigor'evna** — postgraduate student, Department of Architectural Design, **Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU)**, 65 Il'inskaya str., Nizhniy Novgorod, 603950, Russian Federation; ooo-com.FORT@mail.ru.

For citation: Samol'kina E.G. Derevo v sovremennoy arkhitekture malykh form [Wood in the Modern Architecture of Small Forms]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 7—17. (In Russian)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 624.046

С.Л. Блюмин, В.В. Зверев, И.В. Сотникова, А.С. Сысоев
ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕСТКО ОПЕРТЫХ СТЕРЖНЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ*

Рассмотрена и решена задача, относящаяся к устойчивости сжато-изгибаемых стержней переменной жесткости (с уменьшенной жесткостью в средней части), жестко опертых по концам. Получена система трансцендентных уравнений. Корни системы определяют критическую нагрузку, при которой произойдет потеря устойчивости стержня.

Ключевые слова: устойчивость, переменная жесткость, стержень, сжатие с изгибом, критическая сила, система, нелинейные алгебраические уравнения, численные методы.

В прогрессе строительной отрасли первостепенное значение имеет развитие производства наиболее экономически выгодных видов конструкций, к которым в значительной степени относятся легкие металлические конструкции из тонкостенных холодногнутых профилей. Объем строительства зданий и сооружений различного назначения с несущими элементами из тонкостенных холодногнутых профилей постоянно увеличивается, что обусловлено рядом преимуществ

* Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках перечня научно-исследовательских работ базовой части государственного задания, проект № 970.

S.L. Blyumin, V.V. Zverev, I.V. Sotnikova, A.S. Sysoev
LGTU

SOLVING THE STABILITY PROBLEM OF COMPRESSED-BENDABLE PINNED RIGID RODS OF VARIABLE RIGIDITY*

The problem connected with the stability of compressed-bendable rigid rods of variable rigidity (with the reduced rigidity in the centre) is formulated and solved. The system of transcendent equations with roots for critical load for a rod is founded out.

Key words: stability, variable rigidity, rod, bent compression, ultimate force, system of nonlinear algebraic equations, numerical methods.

As for the progress in building and construction industry the main dimension is the development of cost-effective constructions which primarily include thin-walled cold-formed profiles. The building quantity of different structures and buildings with thin-walled cold-formed profile support elements is constantly increasing due to several advantages of this roll type [1—5].

However, despite the widespread use of cold formed profiles and constructions based on them, the recommendations for the analysis of such constructions are not represented in the national design and building standards.

* The research was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the list of research works of the basic unit of the State order, project no. 970.

© Блюмин С.Л., Зверев В.В., Сотникова И.В., Сысоев А.С., 2015

этого вида проката [1—5]. Однако, несмотря на широкое применение холодноформованных профилей и конструкций на их основе, отечественные нормы проектирования и строительства не содержат рекомендаций для расчета такого вида конструкций.

На работу рамных конструкций из холодноформованных профилей значительное влияние оказывает явление потери устойчивости. В достаточной степени не исследована действительная работа стержней из холодногнутых профилей, усиленных фасонками из стали [2—9].

Целью исследования является получение системы трансцендентных уравнений для сжато-изгибаемого жестко опертого стержня с переменной жесткостью, решение которой будет служить критерием потери устойчивости.

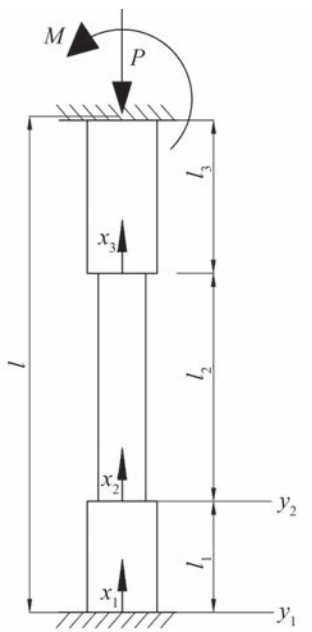
Рассмотрим решение задачи устойчивости сжатого стержня переменной жесткости, шарнирно опертого по концам [10]. На рисунке представлен стержень, состоящий из трех частей. Крайние части длиной l_1 и l_3 имеют жесткость EI_1, а средняя длиной l_2 имеет жесткость EI_2, причем $I_2 > I_1$.

The characteristics of the cold-formed profile frame constructions are much influenced by the buckling phenomenon in the process of its use. The real characteristics of the cold-formed profile rods, reinforced by corner steel plates are not sufficiently investigated [2—9].

The study is intended to obtain a system of transcendental equations for a compressed-bendable rigid rod of variable rigidity, the solution of which will be considered as buckling criterion.

Let us consider the solution of the stability problem for a variable rigid pin-ended rod [10].

Figure depicts a rod composed of three parts. The end parts with the length of l_1 and l_3 have a rigidity EI_1 and the middle part with the length of l_2 has a rigidity EI_2, and $I_2 > I_1$.



Расчетная схема стержня переменной жесткости, жестко-опертого по концам

Calculated scheme of the variable rigid pin-ended rod

Составим дифференциальное уравнение изогнутой оси для каждой части.

Будем отсчитывать координату x_1 от конца стрежня O, а x_2, x_3 — от точки сопряжения участков. Уравнения будут иметь вид

Let us construct a differential equation of the bent axis for each part. We will measure the coordinate x_1 from the end of the rod O, and x_2, x_3 — from the point of conjugation sites. The equations will be the following:

$$\begin{cases} EI_1 \dfrac{d^2v_1}{dx_1^2} + Pv_1 = -\dfrac{M}{l_1}x_1; \\ EI_2 \dfrac{d^2v_2}{dx_2^2} + Pv_2 = -\dfrac{M}{l_2}x_2; \\ EI_1 \dfrac{d^2v_3}{dx_3^2} + Pv_3 = -\dfrac{M}{l_3}x_3. \end{cases} \quad (1)$$

Введем обозначения $\dfrac{P}{EI_1} = k_1^2$, $\dfrac{P}{EI_2} = k_2^2$, $\dfrac{M}{EI_1} = j_1^2$, $\dfrac{M}{EI_2} = j_2^2$. Запишем интегралы уравнений системы:

Let us introduce the notations $\dfrac{P}{EI_1} = k_1^2$, $\dfrac{P}{EI_2} = k_2^2$, $\dfrac{M}{EI_1} = j_1^2$, $\dfrac{M}{EI_2} = j_2^2$ and write the equation integrals of the system:

$$\begin{cases} v_1 = A\sin k_1x_1 + B\cos k_1x_1 - \dfrac{j_1^2}{k_1^2}\dfrac{x_1}{l_1}; \\ v_2 = C\sin k_2x_2 + D\cos k_2x_2 - \dfrac{j_2^2}{k_2^2}\dfrac{x_2}{l_2}; \\ v_3 = F\sin k_1x_3 + G\cos k_1x_3 - \dfrac{j_1^2}{k_1^2}\dfrac{x_3}{l_3}. \end{cases} \quad (2)$$

Выпишем граничные условия по концам и в точках сопряжения участков:

Let us write out the boundary conditions at the ends and at the points of conjugation of the areas:

$$\begin{aligned} &v_1 = 0 \text{ при } x_1 = 0; \\ &\frac{dv_1}{dx_1} = 0 \text{ при } x_1 = 0; \\ &\frac{dv_1}{dx_1} = \frac{dv_2}{dx_2} \text{ при } x_1 = l_1 \text{ и } x_2 = 0; \\ &v_3 = 0 \text{ при } x_3 = l_3; \\ &\frac{dv_2}{dx_2} = \frac{dv_3}{dx_3} \text{ при } x_2 = l_2 \text{ и } x_3 = 0; \\ &\frac{dv_3}{dx_3} = 0 \text{ при } x_3 = l_3. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &v_1 = 0 \text{ for } x_1 = 0; \\ &\frac{dv_1}{dx_1} = 0 \text{ for } x_1 = 0; \\ &\frac{dv_1}{dx_1} = \frac{dv_2}{dx_2} \text{ for } x_1 = l_1 \text{ and } x_2 = 0; \\ &v_3 = 0 \text{ for } x_3 = l_3; \\ &\frac{dv_2}{dx_2} = \frac{dv_3}{dx_3} \text{ for } x_2 = l_2 \text{ and } x_3 = 0; \\ &\frac{dv_3}{dx_3} = 0 \text{ for } x_3 = l_3. \end{aligned} \quad (3)$$

Учитывая условия (3) и системы (1)—(2), получаем следующую неоднородную систему линейных алгебраических уравнений:

Considering the conditions (3) and the systems (1)—(2), we obtain the following inhomogeneous system of linear algebraic equations:

$$\begin{cases} B = 0; \\ Ak_1 = \dfrac{j_1^2}{k_1^2 l_1}; \\ Ak_1 \cos k_1 l_1 - Bk_1 \sin k_1 l_1 - \dfrac{j_1^2}{k_1^2} \dfrac{1}{l_1} = Ck_2 - \dfrac{j_2^2}{k_2^2} \dfrac{1}{l_2}; \\ F \sin k_1 l_3 + G \cos k_1 l_3 - \dfrac{j_1^2}{k_1^2} = 0; \\ Ck_2 \cos k_2 l_2 - Dk_2 \sin k_2 l_2 - \dfrac{1}{l_2} \dfrac{j_2^2}{k_2^2} = Fk_1 - \dfrac{1}{l_3} \dfrac{j_1^2}{k_1^2}; \\ Fk_1 \cos k_1 l_3 - Gk_1 \sin k_1 l_3 - \dfrac{j_1^2}{k_1^2} \dfrac{1}{l_3} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Определение постоянных интегрирования из граничных условий задачи приводит к неоднородной системе линейных уравнений (4). В рассмотренной ранее авторами задаче устойчивости сжатого стержня переменной жесткости, шарнирно опертого по концам, приведенной в [20], при подобном переходе возникала однородная система линейных уравнений, критерием существования нетривиального решения которой выступало равенство определителя матрицы системы нулю.

В случае же системы (4) аналогом такого критерия может выступать система равенств нулю определителя матрицы системы и определителей, полученных поочередной заменой столбцов матрицы системы столбцом свободных членов. Однако при таком подходе мы не гарантируем и отсутствие решений у системы. Но в данной практической задаче гарантией наличия нетривиальных решений будет выступать проверка разрешимости системы (4) при полученных численно значениях искомых параметров [10, 12—14].

Determination of the integration constants of the boundary conditions of the problem leads to a system of inhomogeneous linear equations (4). In the previous research on solving the problem of the resistance of compressed-bent rods with step inflexibility change [20] there was a system of homogeneous linear equations. The criterion of the existence of a nontrivial solution was the equality of a system matrix determinant to zero.

In the case of (4) the system of equality to zero for the system matrix determinant and the determinants produced by alternate substitution of matrix columns with a column of constant terms could be used as an analogue. However using this scheme we could not guarantee that system has no solutions in general. But in the problem under consideration the existence of nontrivial solutions will be determined by a control of a solubility of the system (4) for the coefficients obtained numerically [10, 12—14].

Применяя описанный подход к системе (4), перейдем к системе трансцендентных уравнений:

Using the defined approach we could construct the following system:

$$\begin{cases} k_1k_2\sin(k_2l_2)\cos^2(k_1l_3)+k_1k_2\sin(k_2l_2)\sin^2(k_1l_3)=0; \\ -\left(j_1^2k_2^2l_1l_2\cos(k_1l_3)-j_1^2k_2^2l_1l_2\cos^2(k_1l_3)+j_2^2k_1^2l_1l_3\cos^2(k_1l_3)-\right. \\ -j_1^2k_2^2l_1l_2\sin^2(k_1l_3)+j_2^2k_1^2l_1l_3\sin^2(k_1l_3)-j_2^2k_1^2l_1l_3\cos^2(k_1l_3)\cos(k_2l_2)+ \\ +j_1^2k_2^2l_2l_3\cos^2(k_1l_3)\cos(k_2l_2)-j_2^2k_1^2l_1l_3\cos(k_2l_2)\sin^2(k_1l_3)+ \\ +j_1^2k_2^2l_2l_3\cos(k_2l_2)\sin^2(k_1l_3)-j_1^2k_2^2l_2l_3\cos(k_1l_1)\cos(k_2l_2)\sin^2(k_1l_3)+ \\ \left.+j_1^2k_1k_2^2l_1l_2l_3\sin(k_1l_3)-j_1^2k_2^2l_2l_3\cos(k_1l_1)\cos^2(k_1l_3)\cos(k_2l_2)\right)\Big/\left(k_1k_2^2l_1l_2l_3\right)=0; \\ \left(j_1^2k_2\sin(k_2l_2)\left(\cos(k_1l_3)+k_1l_3\sin(k_1l_3)\right)\right)\Big/\left(k_1^2l_3\right)=0; \\ -\left(j_1^2k_2\sin(k_2l_2)\left(\sin(k_1l_3)+k_1l_3\cos(k_1l_3)\right)\right)\Big/\left(k_1^2l_3\right)=0. \end{cases} \quad (5)$$

Корни системы трансцендентных уравнений (5) определяют критическую нагрузку, при которой произойдет потеря устойчивости стержня. Следует отметить, что отыскание корней системы (5) производилось численно в программной среде Matlab.

The roots of transcendental equations system (5) determine the critical load at which the rod buckling occurs. It should be noted that finding the roots of the system (4) was made numerically in Matlab software system.

Расчет конструкций на устойчивость опирается на понятие расчетной длины стержня. Под этим понимается длина полуволны изгиба при потере устойчивости или же шарнирно опертого стержня той же жесткости, эквивалентного по устойчивости рассматриваемым [12—20].

The structural stability analysis is based on the calculated rod length. It is understood as the bent half-wavelength in case of buckling or the length of the hinged rod of the same rigidity with the stability equal to the one under consideration [12—20].

Исходя из этого и предположения абсолютной применимости закона Гука, эквивалентный по устойчивости шарнирно опертый стержень, как и рассматриваемый жестко опертый, имеет эйлерову критическую силу

On the assumption of the absolute validity of Hooke's law both the considered rod and the hinged one have the following Euler load:

$$N_э = \frac{\pi^2 EI}{l_0}, \quad (6)$$

где E — модуль упругости материала; I — момент инерции сечения; l_0 — расчетная длина стержня.

where E is the modulus of elasticity of the material; I — the second moment of area; l_0 — the calculated length of a rod.

Из условия эквивалентности стержней находим для расчетной длины формулу

Basing on the rods equivalence the calculated length is given by:

$$l_0 = \pi\sqrt{\frac{EI}{N_k}}, \quad (7)$$

где N_k — критическая сила, определяемая по формуле (6).

Установленная связь между критической силой и расчетной длиной стержня является основой для уточнения системы норм и разработки рекомендаций для расчета конструкций, в основе которых присутствуют сжато-изгибаемые жестко опертые стержни переменной жесткости.

where N_k — the critical load, defined by (6).

Thus, the established connection between the critical load and the calculated length of the rod is a basis for the specification of rules and the development of recommendations for calculating the constructions, which have compressed-bendable rigid rods of variable rigidity in their structure.

Библиографический список

1. *Айрумян Э.Л., Каменщиков Н.И., Липленко М.А.* Перспективы ЛСТК в России // СтройПРОФИ. 2013. № 10. С. 12—17.

2. *Зверев В.В., Жидков К.Е., Семенов А.С., Сотникова И.В.* Экспериментальные исследования рамных конструкций из холодногнутых профилей повышенной жесткости // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2011. № 4 (24). С. 20—25.

3. *Айрумян Э.Л.* Рекомендации по расчету стальных конструкций из тонкостенных гнутых профилей // СтройПРОФИль. 2009. № 8 (78). С. 12—14.

4. *Айрумян Э.Л.* Особенности расчета стальных конструкций из тонкостенных гнутых профилей // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2008. № 3. С. 2—7.

5. *Luza G., Robra J.* Design of Z-purlins: Part 1. Basics and cross-section values according to EN 1993-1-3 // Proceedings of the 5th European Conference on Steel and Composite Structures EUROSTEEL, Graz, Austria, 2008. Vol. A. Pp. 129—134.

6. *Luza G., Robra J.* Design of Z-purlins: Part 2. Design methods given in Eurocode EN 1993-1-3 // Proceedings of the 5th European Conference on Steel and Composite Structures EUROSTEEL. Graz, Austria, 2008. Vol. A. Pp. 135—140.

References

1. Ayrumyan E.L., Kamenshchikov N.I., Liplenko M.A. Perspektivy LSTK v Rossii [Prospects of Steel Frames in Russia]. *Stroy-PROFI* [Construction Prof]. 2013, no. 10, pp. 12—17. (In Russian)

2. Zverev V.V., Zhidkov K.E., Semenov A.S., Sotnikova I.V. Eksperimental'nye issledovaniya ramnykh konstruktsiy iz kholodnognutykh profiley povyshennoy zhestkosti [Experimental Studies of Frame Constructions Produced of Cold-Formed Profiles of Increased Rigidity]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture]. 2011, no. 4 (24), pp. 20—25. (In Russian)

3. Ayrumyan E.L. Rekomendatsii po raschetu stal'nykh konstruktsiy iz tonkostennykh gnutykh profiley [Recommendations for Calculating Steel Constructions Produced of Thin-Walled Roll-Formed Profiles]. *Stroy-PROFIl'* [Construction Profile]. 2009, no. 8 (78), pp. 12—14. (In Russian)

4. Ayrumyan E.L. Osobennosti rascheta stal'nykh konstruktsiy iz tonkostennykh gnutykh profiley [Features of Calculation for Steel Thin-Walled Roll-Formed Shapes]. *Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve* [Installation and Special Works in Construction]. 2008, no. 3, pp. 2—7. (In Russian)

5. Luza G., Robra J. Design of Z-purlins: Part 1. Basics and Cross-Section Values Ac-

7. *Смазнов Д.Н.* Устойчивость при сжатии составных колонн, выполненных из профилей из высокопрочной стали // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3. С. 42—49.

8. *Yu W.-W., LaBoube R.A.* Cold-Formed Steel Design. 4th Edition. John Wiley & Sons, 2010. 512 p.

9. *Тимошенко С.П., Григолюк Э.И.* Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М. : Наука, 1971. 807 с.

10. *Вольмир А.С.* Устойчивость упругих систем. М. : Физматлит, 1972. 879 с.

11. *Галкин А.В., Сысоев А.С., Сотникова И.В.* Задача устойчивости сжато-изгибаемых стержней со ступенчатым изменением жесткости // Вестник МГСУ. 2015. № 2. С. 38—44.

12. *Горбачев В.И., Москаленко О.Б.* Устойчивость стержней с переменной жесткостью при сжатии распределенной нагрузкой // Вестник Московского университета. Серия 1, Математика. Механика. 2012. № 1. С. 41—47.

13. *Темис Ю.М., Федоров И.М.* Сравнение методов анализа устойчивости стержней переменного сечения при неконсервативном нагружении // Проблемы прочности и пластичности. 2006. Вып. 68. С. 95—106.

14. *Гукова М.И., Симон Н.Ю., Святошенко А.Е.* Вычисление расчетных длин сжатых стержней с учетом их совместной работы // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 3. С. 43—47.

15. *Солдатов А.Ю., Лебедев В.Л., Семенов В.А.* Анализ устойчивости стальных стержневых систем с учетом нелинейной диаграммы деформирования материала // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 2. С. 48—52.

16. *Солдатов А.Ю., Лебедев В.Л., Семенов В.А.* Анализ устойчивости строительных конструкций с учетом физической нелинейности методом конечных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 6. С. 60—65.

cording to EN 1993-1-3. Proceedings of the 5th European Conference on Steel and Composite Structures EUROSTEEL. Graz, Austria, 2008, vol. A, pp. 129—134.

6. Luza G., Robra J. Design of Z-purlins: Part 2. Design Methods Given in Eurocode EN 1993-1-3. Proceedings of the 5th European Conference on Steel and Composite Structures EUROSTEEL. Graz, Austria, 2008, vol. A, pp. 135—140.

7. Smaznov D.N. Ustoychivost' pri szhatii sostavnykh kolonn, vypolnennykh iz profiley iz vysokoprochnoy stali [Stability in Compression of Composite Columns Made of High-Strength Steel Profiles]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2009, no. 3, pp. 42—49. (In Russian)

8. Yu W.-W., LaBoube R.A. Cold-Formed Steel Design. 4th Edition, John Wiley & Sons, 2010, 512 p.

9. Timoshenko S.P., Grigolyuk E.I. *Ustoychivost' sterzhney, plastin i obolochek* [Stability of Rods, Plates and Shells]. Moscow, Nauka Publ., 1971, 807 p. (In Russian)

10. Vol'mir A.S. *Ustoychivost' uprugikh system* [Stability of Elastic Systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1972, 879 p. (In Russian)

11. Galkin A.V., Sysoev A.S., Sotnikova I.V. Zadacha ustoychivosti szhato-izgibaemykh sterzhney so stupenchatym izmeneniem zhestkosti [The Resistance Problem of Compressed-Bent Shanks with Step Inflexibility Change]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 2, pp. 38—44. (In Russian)

12. Gorbachev V.I., Moskalenko O.B. Ustoychivost' sterzhney s peremennoy zhestkost'yu pri szhatii raspredelennoy nagruzkoy [Stability of the Rods with Variable Inflexibility While Pressing with Distributed Load]. *Vestnik Moskovskogo universitetata. Seriya 1, Matematika. Mekhanika* [Bulletin of the Moscow State University. Series 1. Mathematics, Mechanics]. 2012, no. 1, pp. 41—47. (In Russian)

13. Temis Yu.M., Fedorov I.M. Sravnenie metodov analiza ustoychivosti sterzhney peremennogo secheniya pri nekonservativnom nagruzhenii [Comparing the Analysis Methods of the Stability of Rods with Variable Cut Set at Nonconservative Loading]. *Problemy proch-*

17. *Крутий Ю.С.* Задача Эйлера в случае непрерывной поперечной жесткости (продолжение) // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 2. С. 27—33.

18. *Сливкер В.И.* Устойчивость стержня под действием сжимающей силы с фиксированной линией действия // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 2. С. 34—36.

19. *Насонкин В.Д.* Предельная нагрузка для сжатых стержней, деформируемых за пределом упругости // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 2. С. 24—28.

20. *Потапов А.В.* Устойчивость стальных стержней открытого профиля с учетом реальной работы материала // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 1 (11). С. 112—115.

Поступила в редакцию в мае 2015 г.

Об авторах: **Блюмин Семен Львович** — доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры прикладной математики, **Липецкий государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»)**, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, 8 (4742) 32-80-50, kaf-pm@stu.lipetsk.ru;

Зверев Виталий Валентинович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций, **Липецкий государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»)**, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, 8 (4742) 32-80-79, kaf-mk@stu.lipetsk.ru;

Сотникова Ирина Владимировна — аспирант кафедры металлических конструкций, **Липецкий государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»)**, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, 8 (4742) 32-80-79, i.sotnikowa@yandex.ru;

Сысоев Антон Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры

nosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]. 2006, no. 68, pp. 95—106. (In Russian)

14. Gukova M.I., Simon N.Yu., Svyatoshenko A.E. Vychislenie raschetnykh dlin szhatykh sterzhney s uchetom ikh sovmestnoy raboty [Calculation of the Lengths of Compressed Rods with Account for their Joint Action]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Construction Mechanics and Calculation of Structures]. 2012, no. 3, pp. 43—47. (In Russian)

15. Soldatov A.Yu., Lebedev V.L., Semenov V.A. Analiz ustoychivosti stal'nykh sterzhnevykh sistem s uchetom nelineynoy diagrammy deformirovaniya materiala [Stability Analysis of Steel Rod Systems Taking into Account the Non-Linear Diagram of Material Deformation]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Construction Mechanics and Calculation of Structures]. 2012, no. 2, pp. 48—52. (In Russian)

16. Soldatov A.Yu., Lebedev V.L., Semenov V.A. Analiz ustoychivosti stroitel'nykh konstruktsiy s uchetom fizicheskoy nelineynosti metodom konechnykh elementov [Stability Analysis of Building Structures Taking into Account the Physical Non-Linearity Using Finite Element Method]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Construction Mechanics and Calculation of Structures]. 2011, no. 6, pp. 60—65. (In Russian)

17. Krutiy Yu.S. Zadacha Eylera v sluchae nepreryvnoy poperechnoy zhestkosti (prodolzhenie) [Euler Problem in Case of Constant Transverse Inflexibility (Continuation)]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Construction Mechanics and Calculation of Structures]. 2011, no. 2, pp. 27—33. (In Russian)

18. Slivker V.I. Ustoychivost' sterzhnya pod deystviem szhimayushchey sily s fiksirovannoy liniey deystviya [Stability of a Rod under the Influence of Comprehensive Load with Fixed Force Line]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Construction Mechanics and Calculation of Structures]. 2011, no. 2, pp. 34—36. (In Russian)

19. Nasonkin V.D. Predel'naya nagruzka dlya szhatykh sterzhney, deformiruemykh za predelom uprugosti [Ultimate Load for Com-

прикладной математики, **Липецкий государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»)**, 398600, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, 8 (4742) 32-80-51, anton_syssoyev@mail.ru.

Для цитирования: *Блюмин С.Л., Зверев В.В., Сотникова И.В., Сысоев А.С.* Решение задачи устойчивости сжато-изгибаемых жестко опертых стержней переменной жесткости // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 18—26.

pressed Rods Deformable outside the Limit of Elasticity]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Construction Mechanics and Calculation of Structures]. 2007, no. 2, pp. 24—28. (In Russian)

20. Potapov A.V. Ustoychivost' stal'nykh sterzhney otkrytogo profilya s uchetom real'noy raboty materiala [Stability of Steel Rods with Open Profile Taking into Account the Real Operation of the Material]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2009, no. 1 (11), pp. 112—115. (In Russian)

Received in May 2015.

About the authors: **Blyumin Semen L'vovich** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Applied Mathematics, **Lipetsk State Technical University (LGTU)**, 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398600, Russian Federation; +7 (4742) 32-80-50, kaf-pm@stu.lipetsk.ru;

Zverev Vitaliy Valentinovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, chair, Department of Metal Structures, **Lipetsk State Technical University (LGTU)**, 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398600, Russian Federation; +7 (4742) 32-80-79, kaf-mk@stu.lipetsk.ru;

Sotnikova Irina Vladimirovna — postgraduate student, Department of Metal Structures, **Lipetsk State Technical University (LGTU)**, 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398600, Russian Federation; +7 (4742) 32-80-79; i.sotnikowa@yandex.ru;

Sysoev Anton Sergeevich — Candidate of Technical Sciences, Assistant Lecturer, Department of Applied Mathematics, **Lipetsk State Technical University (LGTU)**, 30 Moskovskaya str., Lipetsk, 398600, Russian Federation; +7 (4742) 32-80-51; anton_syssoyev@mail.ru.

For citation: Blyumin S.L., Zverev V.V., Sotnikova I.V., Sysoev A.S. Reshenie zadachi ustoychivosti szhato-izgibaemykh zhestko-opertykh sterzhney peremennoy zhestkosti [Solving the Stability Problem of Compressed-Bendable Pinned Rigid Rods of Variable Rigidity]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 18—26.

УДК 624.075.23

А.А. Коянкин, В.М. Митасов*
*ФГОУ ВПО «СФУ», *ФГБОУ ВПО «НГАСУ (Сибстрин)»*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СТЫКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ РИГЕЛЯ С КОЛОННОЙ В СБОРНО-МОНОЛИТНОМ ПЕРЕКРЫТИИ

Приведены данные экспериментальных исследований по изучению работы узла сопряжения ригеля с колонной в сборно-монолитном перекрытии. Актуальность исследования в том, что сборно-монолитное строительство становится все более распространенным видом домостроения, при том, что остается существенным недостаток данных о методе, в т.ч. и экспериментальных, позволяющих объективно оценить деформированное состояние сборно-монолитной конструкции перекрытия.

Ключевые слова: сборно-монолитное перекрытие, ригель, несущая способность, жесткость, трещиностойкость.

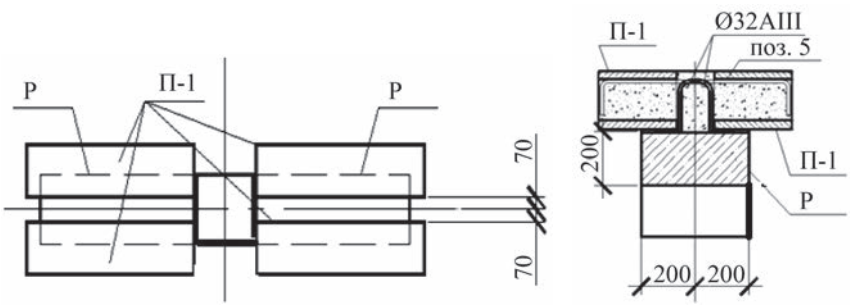
В настоящее время здания из сборно-монолитного железобетона [1—19] пользуются все большей популярностью. В России существует целый ряд строительных организаций, специализирующихся на возведении жилых и общественных сборно-монолитных зданий. Распространенность такого вида строительства объясняется возможностью удачного совмещения положительных моментов сборного и монолитного строительства, при этом максимально сокращая их минусы. Однако, несмотря на увеличивающиеся объемы сборно-монолитного строительства, на данный момент существует недостаточный объем экспериментальных данных, позволяющих объективно оценить несущую способность, жесткость и трещиностойкость сборно-монолитных конструкций здания.

С целью изучения конструктивной надежности узлового соединения ригеля с колонной в составе сборно-монолитного здания, в лаборатории испытания строительных конструкций Сибирского федерального университета проведены экспериментальные исследования полномасштабных моделей узловых соединений. Всего было изготовлено четыре опытных образца, два из которых (Р-1, Р-3) включали в себя:

фрагмент колонны — железобетонный столб размерами 400 × 400 × 200 (*h*) мм;

сборно-монолитные ригели — сборная часть сечением 400 × 200 (*h*) мм (армированная напрягаемыми канатами 4Ø12К1500 в нижней части), располагаемая снизу и укладываемая сверху монолитная часть, армированная продольной арматурой 2Ø32А400 (местоположение аналогично рис. 1) и поперечной арматурой Ø8А240, установленной с шагом 70 мм и сопрягаемой с продольной арматурой при помощи вязальной проволоки. При этом совместность работы сборного и монолитного бетонов обеспечивается за счет выполняемых выемок, наличия неровностей и выступающей поперечной арматуры на сборной части.

© Коянкин А.А., Митасов В.М., 2015

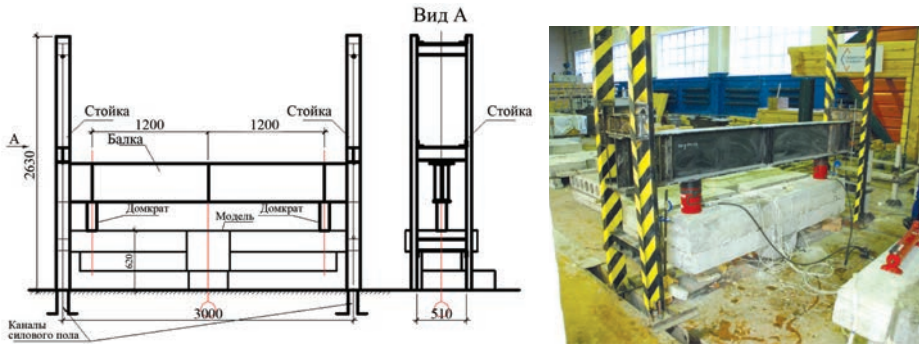


а *б*

Рис. 1. Экспериментальный образец: *а* — вид сверху; *б* — вид сбоку

Остальные два образца (Р-2 и Р-4), помимо элементов, которые были включены в образцы Р-1 и Р-3, дополнительно включали (см. рис. 1) сборные пустотные плиты перекрытия сечением 1200 × 220 (*h*) мм, армированные только напрягаемыми канатами 7Ø12К1500 и сопрягаемые с монолитной частью ригеля посредством устройства в пустотах плиты, одновременно с монолитной частью ригеля, железобетонных шпонок армированных 1Ø10А400. Длина фрагмента плиты составила 300 мм, а длина шпонок имела переменную величину и составляла 200…300 мм.

Испытания образцов выполнялись при помощи специально изготовленной экспериментальной установки закрепляемой в «ручьи» силового пола испытательной лаборатории. При этом загружение опытных образцов, которые были установлены непосредственно на силовой пол, производилось сверху двумя 100-тонными домкратами ДУ100П150, располагаемыми на краях консолей образцов и передающими нагрузку сверху вниз (рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Экспериментальная установка: *а* — схема; *б* — фотография

С целью фиксации вертикальных перемещений применялись индикаторы часового типа ИЧ-10 и прогибомеры 5ПАО-ЛИСИ. Деформации поверхностей бетона фиксировались измерительной системой ММТС-64 с тензорезисторами КФ5П1-50-120-А-12, а также универсальным многоканальным измерителем-регистратором ТЕРЕМ-4.0 с датчиками перемещения ДПЛ-10, а деформации арматуры — тензорезисторами КФ5П1-10-200-А-12. Для определения ширины раскрытия трещин применялся микроскоп МПБ-3.

В результате проведенных испытаний было определено, что конструкция применяемого стыкового соединения, именно в части сопряжения ригеля с колонной, не рассматривая наличие пустотной плиты, обладает необходимой и достаточной трещиностойкостью. Это подтверждается тем, что во всех испытываемых образцах картина образования трещин одинакова, трещины образуются логично и прогнозируемо. При проведении экспериментов были зафиксированы только нормальные трещины, образовавшиеся в монолитном железобетоне (верхняя растянутая зона) на стыке ригеля с колонной, при величине нагрузки 24…37 кН, и имевшие первоначальную ширину раскрытия 0,2…0,3 мм, что не превышает предельно допустимого значения. Соотношение усилий M и Q, которые возникнут в узле при данных нагрузках, соответствует, проецируя на реальное здание, пролету ригеля от 6,0 м при шаге рам от 4,0 м с учетом нормативной эксплуатационной нагрузки на перекрытие 1,5 кН/м^2 и нагрузок от конструкций пола и перегородок. Образования наклонных трещин зафиксировано не было даже в момент разрушения конструкции стыка по нормальному сечению.

Негативным моментом, который был выявлен при проведении экспериментов, было включение в работу сборно-монолитного ригеля пустотной плиты перекрытия, собственно как это и происходит в реальной конструкции, приводящее к образованию нормальных трещин в пустотной плите перекрытия в направлении, параллельном пустотам. То есть результаты эксперимента подтверждают, что за счет устройства сопряжения пустотной плиты с ригелем при помощи монолитных шпонок, включается в работу ригеля на изгиб также и пустотная плита, причем работа пустотной плиты уже происходит в поперечном, т.е. не рабочем для нее направлении. Таким образом, в поперечном направлении плиты возникают растягивающие усилия, приводящие к трещинообразованию, особенно в случае отсутствия какого-либо армирования (конструктивного или рабочего) плиты в поперечном направлении. Этот факт требует принятия конструктивных мер с целью избежания образования трещин в пустотной плите (введение соответствующего армирования, исключение жесткой совместной работы с ригелем и др.).

Прогибы в экспериментальных образцах по мере загружения увеличиваются равномерно, без резких скачков. Однако отмечено, что меньшие прогибы наблюдаются в стыках, выполняемых с фрагментами пустотных плит, что, в принципе и логично, так как пустотная плита, за счет шпоночного соединения с ригелем, включена в работу совместно со сборно-монолитным ригелем. При этом максимальное значение прогиба при нагрузке 41 кН составило 14,4 мм в стыках без пустотных плит и 8,5 мм в стыках с фрагментами плит (рис. 3).

Анализ данных, которые были получены в результате обработки показаний тензометрических датчиков, показал, что во всех экспериментальных образцах напряжения в продольной арматуре достигают предела текучести. При этом деформации бетона нижней поверхности сборной части ригеля в местах установки тензодатчиков не достигли предельных значений равных 0,002, т.е. разрушения сжатой зоны бетона зафиксировано не было. Об этом свидетель-

ствует и визуальный осмотр конструкции. Максимальные деформации сжатия нижней поверхности ригеля наблюдаются, как и ожидаемо, возле колонны. Во всех экспериментальных образцах наблюдается примерно одинаковая картина нарастания деформаций. Полученные результаты указывают на то, что исчерпание несущей способности конструкций стыков происходит именно по причине достижения предельного состояния в арматуре (рис. 4).

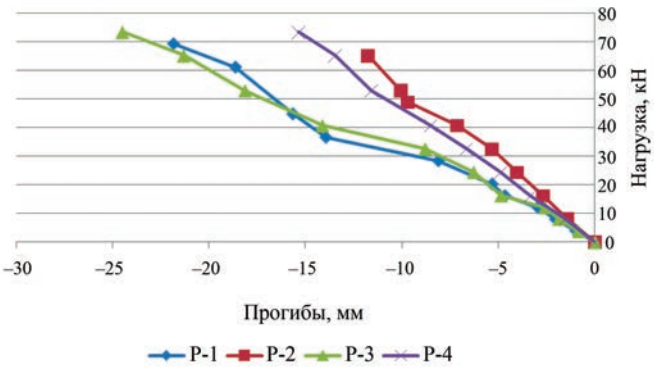
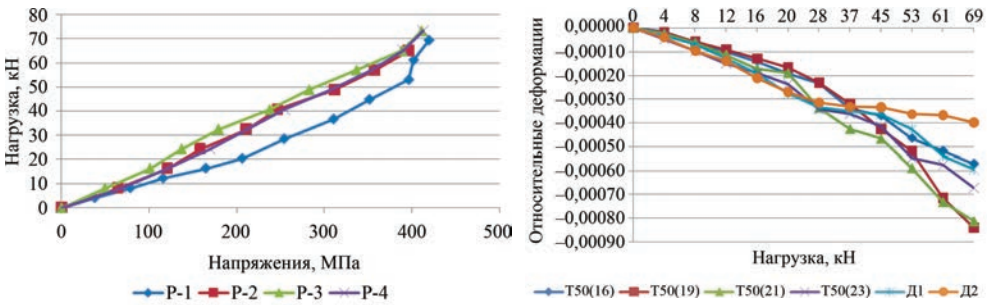


Рис. 3. Увеличение прогибов в экспериментальных образцах по мере загружения



а *б*

Рис. 4. Показания тензодатчиков: *а* — средние напряжения арматуры; *б* — относительные деформации сжатого бетона в образце Р-1

Все опытные образцы были доведены до разрушения. Как ранее было сказано, разрушение экспериментальных образцов происходило по нормальному сечению в результате достижения в арматуре предела текучести, что подтверждается наличием нормальных трещин и показаниями тензодатчиков. Разрушение опытных образцов Р-1, Р-2, Р-3 и Р-4 произошло при нагрузке 69, 65, 73 и 73 кН соответственно. При этом нормальные трещины были зафиксированы только в растянутой зоне ригеля, а в бетоне сжатой зоны (визуально) признаки разрушения обнаружены не были. Также отмечено, что взаимного сдвига монолитной и сборной частей ригеля по шву сопряжения не происходило (по результатам визуального обследования).

Несущая способность, определенная по СП 52-101—2003, составила 60 кН, что вполне соотносится с несущей способностью, полученной в результате испытаний.

Выводы: стыковое соединение ригеля с колонной обладает достаточной жесткостью, трещиностойкостью и несущей способностью. Причем несущая способность и трещиностойкость обеспечены как при работе конструкции по нормальному сечению, так и по наклонному сечению;

применяемое конструктивное решение, устраиваемое именно в части сопряжения ригеля с колонной, прекрасно подходит для устройства перекрытий пролетом 6 м и более и способно воспринять изгибающий момент от 65 до 73 кН·м;

«слабым местом» стыкового соединения является узел сопряжения сборных пустотных плит перекрытия с монолитной частью ригеля посредством устройства в пустотах плиты. Растягивающие усилия, возникающие в монолитной части ригеля, через монолитные железобетонные шпонки передаются на пустотные плиты, вызывая в них растягивающие усилия в поперечном (не рабочем) направлении, приводящие к образованию трещин вдоль пустот;

несущая способность стыка по нормальному сечению, определенная согласно действующим нормам, оказалась на 5…20 % ниже по сравнению с экспериментальными данными.

Результаты настоящей работы подтверждают данные, которые были получены в ранее проведенных экспериментальных исследованиях [20] на фрагменте сборно-монолитного перекрытия.

Библиографический список

1. *Мордич А.И., Белевич В.Н., Симбиркин В.Н., Навой Д.И., Миронов А.Н., Райчев В.П., Чубрик А.И.* Эффективные конструктивные системы многоэтажных жилых домов и общественных зданий (12…25 этажей) для условий строительства в Москве и городах Московской области, наиболее полно удовлетворяющие современным маркетинговым требованиям. Минск : НИЭПУП «Институт БелНИИС», 2002. 117 с.

2. *Шембаков В.А.* Сборно-монолитное каркасное домостроение: руководство к принятию решения. 2-е изд., перераб. и доп. Чебоксары, 2005. 119 с.

3. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса КУБ 2.5. Выпуск 1-1. М. : Стройиздат, 1990. 49 с.

4. *Никитин Н.В., Франов П.И., Тимонин Е.М.* Рекомендации по проектированию конструкций плоского сборно-монолитного перекрытия «Сочи». 3-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1975. 34 с.

5. *Казина Г.А.* Современные железобетонные конструкции сейсмостойких зданий. М. : ВНИИС, 1981. 25 с.

6. Пат. 2107784 РФ, МПК E04G23, E04G21, E04B1/35. Способ возведения, восстановления или реконструкции зданий, сооружений и способ изготовления строительных изделий и конструкций из композиционных материалов, преимущественно бетонов, для возведения, восстановления или реконструкции зданий, сооружений / В.Н. Селиванов, С.Н. Селиванов. Заявка № 96124582/03; заявл. 30.12.1996; опубл. 27.03.1998.

7. Пат. 2226593 РФ, МПК E04B1/18. Железобетонный сборно-монолитный каркас многоэтажного здания / А.И. Мордич, С.Н. Кучихин, В.Н. Белевич, В.Н. Симбиркин ; патентообладатель «Институт БелНИИС». Заявка № 2002118292/03; заявл. 08.07.2002; опубл. 10.04.2004.

8. Пат. 2281362 РФ, МПК E04B1/20. Сборно-монолитный железобетонный каркас многоэтажного здания «Казань-XXIв» / И.И. Мустафин. Заявка № 2004139244/03; заявл. 27.12.2004; опубл. 10.08.2006. Бюл. № 22. 14 с.

9. *Мордич А.И.* Сборно-монолитные и монолитные каркасы многоэтажных зданий с плоскими распорными перекрытиями // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2001. № 8—9. С. 10—14.

10. *Сахновский К.В.* Железобетонные конструкции. 8-е изд., перераб. М. : Госстройиздат, 1960. 840 с.

11. *Мордич А.И.. Белевич В.Н., Симбиркин В.Н., Навой Д.И.* Опыт практического применения и основные результаты натурных испытаний сборно-монолитного каркаса БелНИИС // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2004. № 8. С. 8—12.

12. *Копривица Б.* Применение каркасной системы ИМС для строительства жилых и общественных зданий // Жилищное строительство. 1984. № 1. С. 30—32.

13. *Мордич А.И., Садохо В.Е., Подлипская И.И., Таратынова Н.А.* Сборно-монолитные преднапряженные перекрытия с применением многопустотных плит // Бетон и железобетон. 1993. № 5. С. 3—6.

14. *Weber H., Bredenbals B., Hullman H.* Bauelemente mit Gittertragern. Institut fur Industrialisierung des Buens. Hannover, 1996. 24 p.

15. Bausysteme mit Gittertragern. Fachgruppe Betonbauteile mit Gittertragern im BDB. Bonn, 1998. 40 p.

16. *Janti F.* Сборно-монолитный каркас «Delta» // Проспект компании «Deltatek OY». 1998. 6 с.

17. *Dimitrijevic R.* A prestressed «open» system from Jugoslavia. Système «ouvert» précontraint yougoslave // Batiment informational, Building Research and Practice. 1978. Vol. 6. No. 4. Pp. 244, 245—249 // Научно-технический реферативный сборник ЦИНИС. 1979. Сер. 14. Вып. 3. С. 8—12.

18. *Pessiki S., Prior R., Sause R., Slaughter S.* Review of existing precast concrete gravity load floor framing system // PCI Journal. 1995. Vol. 40. No. 2. Pp. 52—67.

19. *Schwerm D., Jaurini G.* Deskensysteme aus Betonfertigteilen. Informationsstelle Beton-Bauteile. Bonn, 1997. 37 p.

20. *Митасов В.М., Коянкин А.А.* Работа диска сборно-монолитного перекрытия // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 3. С. 103—110.

Поступила в редакцию в марте 2015 г.

Об авторах: **Коянкин Александр Александрович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций и управляемых систем, **Сибирский федеральный университет (ФГОУ ВПО «СФУ»)**, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, koyankinaa@mail.ru;

Митасов Валерий Михайлович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных конструкций, **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (ФГБОУ ВПО «НГАСУ (Сибстрин)»)**, 630008, г. Новосибирск-8, ул. Ленинградская, д. 113, mitassovv@mail.ru.

Для цитирования: *Коянкин А.А., Митасов В.М.* Экспериментальные исследования работы стыкового соединения ригеля с колонной в сборно-монолитном перекрытии // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 27—34.

A.A. Koyankin, V.M. Mitasov

EXPERIMENTAL STUDY OF THE OPERATION OF THE BOLT JOINT OF A BEARER WITH A COLUMN IN PRECAST-MONOLITHIC CEILING

Precast-monolithic construction is becoming an increasingly popular form of housing. The wide distribution of this type of construction is explained by the possibility to suc-

cessfully combine the advantages of precast and monolithic construction, at the same time reducing their disadvantages. Though there is a significant lack of data, including experimental data, for objective assessment of the stress-strain state of precast-monolithic floor structures. In order to investigate the structural reliability of the bolt joint of a bearer with a column in a precast-monolithic building a series of experimental investigations were carried out in the laboratory of testing the building structures of the Siberian Federal University.

One of the main conclusions is that the bolt joint of a bearer with a column is characterized by sufficient rigidity, crack resistance and bearing capacity. The results of the given work have proved the data obtained in previously conducted investigations on a fragment of a precast-monolithic ceiling.

Key words: precast-monolithic overlap, bearer, bearing capacity, stiffness, crack resistance.

References

1. Mordich A.I., Belevich V.N., Simbirkin V.N., Navoy D.I., Mironov A.N., Raychev V.P., Chubrik A.I. *Effektivnye konstruktivnye sistemy mnogoetazhnykh zhilykh domov i obshchestvennykh zdaniy (12…25 etazhey) dlya usloviy stroitel'stva v Moskve i gorodakh Moskovskoy oblasti, naibolee polno udovletvoryayushchie sovremennym marketingovym trebovaniyam* [Efficient Structural Systems of Multi-Storey Residential Buildings and Public Buildings (12...25 floors) for Construction in Moscow and the Moscow Region Cities, which Best Meet Modern Marketing Requirements]. Minsk, NIEPUP «Institut BelNIIS» Publ., 2002, 117 p. (In Russian)

2. Shembakov V.A. *Sborno-monolitnoe karkasnoe domostroenie: rukovodstvo k prinyatiyu resheniya* [Precast-Monolithic Frame Construction. A Guide to Making Decisions]. 2nd edition. Cheboksary, 2005, 119 p. (In Russian)

3. *Unifitsirovannaya sistema sborno-monolitnogo bezrigel'nogo karkasa KUB 2.5. Vypusk 1-1* [Unified System of Precast-Monolithic Girderless Frame KUB 2.5. Issue 1-1]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990, 49 p. (In Russian)

4. Nikitin N.V., Franov P.I., Timonin E.M. *Rekomendatsii po proektirovaniyu konstruktsiy ploskogo sborno-monolitnogo perekrytiya «Sochi»* [Recommendations for structural design of flat precast-monolithic slabs "Sochi"]. 3rd edition, revised and enlarged. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975, 34 p. (In Russian)

5. Kazina G.A. *Sovremennye zhelezobetonnye konstruktsii seysmostoykikh zdaniy* [Modern Reinforced Concrete Structures of Earthquake-Resistant Buildings]. Moscow, VNIIS Publ., 1981, 25 p. (In Russian)

6. Selivanov V.N., Selivanov S.N. Patent. *2107784 RF, MPK E04G23, E04G21, E04B1/35. Sposob vozvedeniya, vosstanovleniya ili rekonstruktsii zdaniy, sooruzheniy i sposob izgotovleniya stroitel'nykh izdeliy i konstruktsiy iz kompozitsionnykh materialov, preimushchestvenno betonov, dlya vozvedeniya, vosstanovleniya ili rekonstruktsii zdaniy, sooruzheniy* [Russian Patent 2107784 RF, MPK E04G23, E04G21, E04B1/35. Method of Constructing, Repair or Reconstruction of Buildings, Structures and Method of Producing Building Products and Structures of Composite Materials]. Zayavka № 96124582/03; zayavl. 30.12.1996; opubl. 27.03.1998 [Notice no. 96124582/03; appl. 30.12.1996; publ. 27.03.1998]. (In Russian)

7. Mordich A.I., Kuchikhin S.N., Belevich V.N., Simbirkin V.N. *Patent 2226593 RF, MPK E04B1/18. Zhelezobetonnyy sborno-monolitnyy karkas mnogoetazhnogo zdaniya* [Russian Patent 2226593 RF, MPK E04B1/18. Reinforced Concrete Precast-Monolithic Frame of a Multistoreyed Building]. Zayavka № 2002118292/03; zayavl. 08.07.2002; opubl. 10.04.2004 [Notice no. 2002118292/03; appl. 08.07.2002; publ. 10.04.2004]. Patent holder "Institut BelNIIS". (In Russian)

8. Mustafin I.I. *Patent 2281362 RF, MPK E04B1/20. Sborno-monolitnyy zhelezobetonnyy karkas mnogoetazhnogo zdaniya «Kazan'-XXIv»* [Russian Patent 2281362 RF, MPK E04B1/20. Precast-Monolithic Reinforced Concrete Frame of a Multistoreyed Building "Kazan-21 c."]. Zayavka № 2004139244/03; zayavl. 27.12.2004; opubl. 10.08.2006. Byul. № 22 [Notice no. 2004139244/03; appl. 27.12.2004; publ. 10.08.2006. Bulletin no. 22]. 14 p. (In Russian)

9. Mordich A.I. Sborno-monolitnye i monolitnye karkasy mnogoetazhnykh zdaniy s ploskimi raspornymi perekrytiyami [Precast-Monolithic and Monolithic Frames of Multistoreyed Buildings with Flat Brace Floor]. *Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve* [Building and Special Works in Construction]. 2001, no. 8—9, pp. 10—14.

10. Sakhnovskiy K.V. *Zhelezobetonnye konstruktsii* [Reinforced Concrete Constructions]. 8th edition. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1960, 840 p. (In Russian)

11. Mordich A.I. Belevich V.N., Simbirkin V.N., Navoy D.I. Opyt prakticheskogo primeneniya i osnovnye rezul'taty naturnykh ispytaniy sborno-monolitnogo karkasa BelNIIS [Experience of Practical Application and the Main Results of Field Studies of the Precast-Monolithic Frame BelNIIS]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki* [BST: Bulletin of Construction Technologies]. 2004, no. 8, pp. 8—12. (In Russian)

12. Koprivitsa B. Primenenie karkasnoy sistemy IMS dlya stroitel'stva zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Application of Frame System IMS for Constructing Residentialand Public Buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 1984, no. 1, pp. 30—32. (In Russian)

13. Mordich A.I., Sadokho V.E., Podlipskaya I.I., Taratynova N.A. Sborno-monolitnye prednapryazhennye perekrytiya s primeneniem mnogopustotnykh plit [Precast-Monolithic Prestressed Slabs Using Hollow Core Slabs]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1993, no. 5, pp. 3—6. (In Russian)

14. Weber H., Bredenbals B., Hullman H. Bauelemente mit Gittertragern. Institut fur Industrialisierung des Buens. Hannover, 1996, 24 p.

15. Bausysteme mit Gittertragern. Fachgruppe Betonbauteile mit Gittertragern im BDB. Bonn, 1998, 40 p.

16. Janti F. Sborno-monolitnyy karkas «Delta» [Precast-Monolithic Frame "Delta"]. *Prospekt kompanii «Deltatek OY»* [Circular of the Company "Deltatek OY"]. 1998, 6 p. (In Russian)

17. Dimitrijevic R. A Prestressed «Open» System from Jugoslavia. Système «ouvert» précontraint yougoslave. Batiment Informational, Building Research and Practice. 1978, vol. 6, no. 4, pp. 244, 245—249. *Nauchno-tekhnicheskiy referativnyy sbornik TsINIS* [Science and Technical Abstract Collection of the Central Institute of Scientific Information on Construction]. 1979, vol. 14, no. 3, pp. 8—12.

18. Pessiki S., Prior R., Sause R., Slaughter S. Review of Existing Precast Concrete Gravity Load Floor Framing System. PCI Journal. 1995, vol. 40, no. 2, pp. 52—67.

19. Schwerm D., Jaurini G. Deskensysteme aus Betonfertigteilen. Informationsstelle Beton-Bauteile. Bonn, 1997, 37 p.

20. Mitasov V.M., Koyankin A.A. Rabota diska sborno-monolitnogo perekrytiya [Operation of a Floor Slab of a Precast-Monolithic Floor]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014, no. 3, pp. 103—110. (In Russian)

About the authors: **Koyankin Aleksandr Aleksandrovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building Structures and Control Systems, **Siberian Federal University (FGOU VPO SFU)**, 79 Svobodny Avenue, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; koyankinaa@mail.ru;

Mitasov Valeriy Mikhaylovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, chair, Department of Reinforced Concrete Structures, **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (FGBOU VPO NGASU)**, 113 Leningradskaya str., Novosibirsk, 630008, Russian Federation; mitassovv@mail.ru.

For citation: Koyankin A.A., Mitasov V.M. Eksperimental'nye issledovaniya raboty stykovogo soedineniya rigelya s kolonnoy v sborno-monolitnom perekrytii [Experimental Study of the Operation of the Bolt Joint of a Bearer with a Column in Precast-Monolithic Ceiling]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 27—34. (In Russian)

УДК 517.2

М.В. Хасамбиев
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ МНОГОМЕРНОГО ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ АДВЕКЦИИ-ДИФФУЗИИ

Выписано в явном виде решение первой краевой задачи для многомерного дробного дифференциального уравнения адвекции-диффузии. Приведено доказательство того, что найденное решение краевой задачи удовлетворяет заданным краевым условиям.

Ключевые слова: уравнение дробного порядка, дробная производная, функция Миттаг-Леффлера, собственные функции, метод Фурье, коэффициенты Фурье.

Работа посвящена решению первой краевой задачи для многомерного дифференциального уравнения адвекции-диффузии

$$\begin{cases} D_t^{\gamma} u(x, y, t) = D_x^{\alpha} u(x, y, t) + D_y^{\beta} u(x, y, t); & (1) \\ u(0, y, t) = u(1, y, t) = 0; & (2) \\ u(x, 0, t) = u(x, 1, t) = 0; & (3) \\ u(x, y, 0) = \varphi(x, y), & (4) \end{cases}$$

где $D_x^{\alpha} u(x, y, t), D_y^{\beta} u(x, y, t), D_t^{\gamma} u(x, y, t)$ — производные дробного (в смысле Римана — Лиувилля) порядка, где $0 < \gamma < 2$, $1 < \alpha, \beta < 2$ [1].

Краевые задачи для дифференциальных уравнений дробного порядка возникают при описании многих физических процессов стохастического переноса при изучении фильтрации жидкости в сильно пористой (фрактальной) среде [1—8]. Иногда подобные уравнения называют еще уравнениями медленной диффузии (субдиффузии). При этом следует заметить, что порядок дробной производной связан с размерностью фрактала [9—11].

Дифференциальное уравнение диффузии дробного порядка (1) описывает эволюцию некоторой физической системы с потерями, причем показатели α, β и γ дробных производных указывают на долю состояний системы, сохраняющихся за все время эволюции. Такие системы могут быть классифицированы как системы с «остаточной памятью», занимающие промежуточное положение между системами, обладающими «полной памятью», с одной стороны, и марковскими системами, с другой.

В данной работе в явном виде выписано решение краевой задачи для многомерного дробного дифференциального уравнения.

Итак, рассматривается *краевая задача* (1)—(4). Имеет место следующая *теорема*:

Функция $u(x, y, t) = \sum_{n,m=1}^{\infty} \varphi_{n,m} E_{\gamma,1}\left(\left(\lambda_n + l_m\right) t^{\gamma}\right) x^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right) y^{\beta-1} E_{\beta,\beta}\left(l_m y^{\beta}\right)$

является решением задачи (1)—(4).

© Хасамбиев М.В., 2015

Здесь $E_{\alpha,\beta}(z)=\sum_{k=0}^{\infty}\frac{z^k}{\Gamma(\beta+\alpha k)}$ — известная функция Миттаг-Леффлера, а $\varphi_{n,m}$ — соответствующие коэффициенты Фурье [1].

Доказательство. Будем искать такое непрерывное в замкнутой области ($0 \le x, y \le 1$, $0 \le t \le T$) решение дробного дифференциального уравнения (1), которое удовлетворяло бы заданным однородным граничным условиям (2), (3) и начальному условию (4).

Вообще, как принято при решении подобных задач методом Фурье, сначала рассмотрим основную вспомогательную задачу. Суть этой вспомогательной задачи заключается в нахождении нетривиального решения уравнения (1), удовлетворяющего однородным граничным условиям (2), (3). Представим искомое решение $u(x, y, t)$ задачи (1)—(4) в виде произведения:

$$u(x, y, t) = X(x)Y(y)T(t), \tag{5}$$

где $X(x)$ — функция, зависящая только от переменной x; $Y(y)$ — функция, зависящая только от переменной y; $T(t)$ — функция, зависящая только от переменной t. Подставив предполагаемую форму решения (5) в уравнение (1) и разделив обе части этого уравнения на произведение $X(x)Y(y)T(t)$, получим уравнение

$$\frac{D_t^{\gamma}T(t)}{T(t)}=\frac{D_x^{\alpha}X(x)}{X(x)}+\frac{D_y^{\beta}Y(y)}{Y(y)}. \tag{6}$$

В уравнении (6) положим $\frac{D_x^{\alpha}X(x)}{X(x)}=\lambda, \frac{D_y^{\beta}Y(y)}{Y(y)}=l,$ тогда $\frac{D_t^{\gamma}T(t)}{T(t)}=\lambda+l.$

Из последних соотношений следует:

$$D_x^{\alpha}X(x)=\lambda X(x),\ 1<\alpha<2; \tag{7}$$

$$D_y^{\beta}Y(y)=lY(y),\ 1<\beta<2; \tag{8}$$

$$D_t^{\gamma}T(t)=(\lambda+l)T(t),\ 0<\gamma<2. \tag{9}$$

В таком случае, граничные условия (2), (3) дают:

$$X(0) = 0,\ X(1) = 0; \tag{10}$$

$$Y(0) = 0,\ Y(1) = 0. \tag{11}$$

Таким образом, для определения функций $X(x)$ и $Y(y)$ мы получили так называемые задачи Штурма — Лиувилля (7), (10) и (8), (11) (задачи на собственные значения) вида

$$D_x^{\alpha}\omega(x)=\lambda\omega(x),\ \omega(0)=0,\ \omega(1)=0,\ 1<\alpha<2,\ 0\le x\le 1. \tag{12}$$

Задача вида (12) изучена в [1, 13, 14]. В этих работах показано, что только для собственных значений λ_n, являющихся нулями функции $E_{\alpha,\alpha}(\lambda)$, существуют собственные функции задачи (12), равные $\omega_n(x)=x^{\alpha-1}E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)$.

Из вышесказанного следует, что собственные функции $X_n(x)$ и $Y_m(y)$ задач (7), (10) и (8), (11), соответствующие собственным значениям λ_n и l_m соответственно будут равны:

$$X_n(x)=x^{\alpha-1}E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right); \tag{13}$$

$$Y_m(y) = y^{\beta-1} E_{\beta,\beta}\left(l_m y^{\beta}\right). \quad (14)$$

Уравнение вида (9) изучено в [13, 14], в которых показано, что собственным значениям $(\lambda_n + l_m)$, являющимся нулями функции $E_{\gamma,1}(\lambda + l)$, соответствуют собственные функции вида $T_{n,m}(t) = \varphi_{n,m} E_{\gamma,1}\left((\lambda_n + l_m) t^{\gamma}\right)$, где $\varphi_{n,m}$ — неопределенные пока коэффициенты.

Если вернуться к основной вспомогательной задаче, то видно, что функции

$$u_{n,m}(x, y, t) = \varphi_{n,m} E_{\gamma,1}\left((\lambda_n + l_m) t^{\gamma}\right) x^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right) y^{\beta-1} E_{\beta,\beta}\left(l_m y^{\beta}\right)$$

представляют собой частные решения уравнения (1), которые удовлетворяют нулевым граничным условиям (2), (3).

Далее обратимся к решению исходной задачи (1)—(4). Формально составим ряд

$$u(x, y, t) = \sum_{n,m=1}^{\infty} \varphi_{n,m} E_{\gamma,1}\left((\lambda_n + l_m) t^{\gamma}\right) x^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right) y^{\beta-1} E_{\beta,\beta}\left(l_m y^{\beta}\right). \quad (15)$$

Функция $u(x, y, t)$ представленная в виде ряда (15), удовлетворяет заданным граничным условиям (2), (3), так как этим условиям удовлетворяют все члены ряда (15). Потребовав теперь выполнения начального условия (4) для ряда (15), мы получим

$$\varphi(x, y) = u(x, y, 0) = \sum_{n,m=1}^{\infty} \varphi_{n,m} x^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right) y^{\beta-1} E_{\beta,\beta}\left(l_m y^{\beta}\right). \quad (16)$$

В [15] было показано, что система функций вида $\omega_n = \left\{x^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)\right\}_{n=1}^{\infty}$ образует базис в $L_2(0,1)$. Так как базис $\omega_n = \left\{x^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)\right\}_{n=1}^{\infty}$ не ортогональный, то вместе с системами (13) и (14) будем рассматривать системы

$$\overline{X}_n(x) = \left\{(1-x)^{\alpha-1} E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n (1-x)^{\alpha}\right)\right\}_{n=1}^{\infty} \quad (17)$$

и

$$\overline{Y}_m(y) = \left\{(1-y)^{\beta-1} E_{\beta,\beta}\left(l_m (1-y)^{\beta}\right)\right\}_{m=1}^{\infty}, \quad (18)$$

которые являются биортогональными к системам (13) и (14) соответственно [16, 17]. Вообще говоря, системы (17) и (18) — это системы собственных функций задач, сопряженных с задачами (7), (10) и (8), (11) соответственно [18].

Теперь неизвестные коэффициенты $\varphi_{n,m}$ можно определить из равенства (16) с помощью систем функций (17) и (18):

$$\varphi_{n,m} = \left(\varphi(x, y), \overline{X}_n \overline{Y}_m\right), \quad (19)$$

где $\left(\varphi(x, y), \overline{X}_n \overline{Y}_m\right)$ — скалярное произведение функций $\varphi(x, y) \dfrac{\partial^2 \Omega}{\partial \nu^2}$ и $\overline{X}_n \overline{Y}_m$.

Покажем теперь, что ряд (15) с коэффициентами $\varphi_{n,m}$, которые определяются по формуле (19) удовлетворяет всем условиям исходной задачи (1)—(4). Для этого необходимо доказать, что функция, которая определяется рядом (15) дифференцируема, удовлетворяет уравнению (1) в области $0 < x, y < 1$, $t > 0$ и непрерывна в точках границы этой области (при $t = 0$, $x = 0$, $x = 1$, $y = 0$, $y = 1$).

Отметим, что уравнение (1) линейно. Поэтому, ряд, составленный из его частных решений, в силу принципа суперпозиции, также будет являться решением, если он сходится и его можно дифференцировать почленно один раз по $t(0 < \gamma < 2)$ и дважды по x и по $y(1 < \alpha, \beta < 2)$.

Докажем, что для любых $0 < x, y < 1$ и $0 \le t \le T$ ряд (15) сходится абсолютно. Так как достаточно большие по модулю нули l_n функции $E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)$ находятся вне замкнутого угла $\left\{\lambda_n : \left|\arg\left(\lambda_n\right)\right| \le \frac{\alpha\pi}{2}\right\}$, то $\arg\left(\lambda_n\right) > \frac{\pi}{2}$ [19]. В этом случае справедлива следующая оценка [19]:

$$\left|E_{\alpha,\beta}\left(z_n\right)\right| \le \frac{1}{1+\left|z_n\right|}. \tag{20}$$

При этом [19],

$$\left|z_n\right| \sim O\left(n^{\alpha}\right). \tag{21}$$

Таким образом, учитывая (17), получаем следующие соотношения:

$$\left|E_{\gamma,1}\left(\lambda_n + l_m\right)t^{\gamma}\right| \le \frac{1}{1+\left|\left(\lambda_n + l_m\right)t^{\gamma}\right|}; \tag{22}$$

$$\left|E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)\right| \le \frac{1}{1+\left|\lambda_n x^{\alpha}\right|}; \tag{23}$$

$$\left|E_{\beta,\beta}\left(l_m y^{\beta}\right)\right| \le \frac{1}{1+\left|l_m y^{\beta}\right|}. \tag{24}$$

Теперь, согласно (21)—(24), оцениваем ряд (15) по модулю

$$\left|\varphi_{n,m}\, E_{\gamma,1}\left(\lambda_n t^{\gamma}\right)x^{\alpha-1}E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)y^{\beta-1}E_{\beta,\beta}\left(\lambda_n y^{\beta}\right)\right| \le \frac{1}{\left|n^{2\alpha}m^{\beta}x^{\alpha}y^{\beta}t^{\gamma}\right| + \left|n^{\alpha}m^{2\beta}x^{\alpha}y^{\beta}t^{\gamma}\right|}. \tag{25}$$

Рассмотрим мажорирующий ряд

$$\sum_{n,m=1}^{\infty} a_{n,m} = \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{1}{\left|n^{2\alpha}m^{\beta}\right| + \left|n^{\alpha}m^{2\beta}\right|}, \tag{26}$$

который является сходящимся рядом.

Из сходимости мажоранты (26) следует сходимость ряда (15).

Покажем теперь, что при $t \ge \bar{t} \ge 0$, где $\bar{t}$ — любое вспомогательное число, ряды производных

$\sum_{n,m=1}^{\infty} D_t^{\gamma} u_{n,m}(x, y, t)$, $\sum_{n,m=1}^{\infty} D_x^{\alpha} u_{n,m}(x, y, t)$, $\sum_{n,m=1}^{\infty} D_y^{\beta} u_{n,m}(x, y, t)$ сходятся равномерно. Для этого достаточно показать сходимость рядов

$$\sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{\partial u_{n,m}}{\partial t}, \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{\partial^2 u_{n,m}}{\partial x^2}, \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{\partial^2 u_{n,m}}{\partial y^2}, \text{ так как } 0 < \gamma < 2,\ 1 < \alpha, \beta < 2$$

Сформулируем дополнительные требования, которым должна удовлетворять функция $\varphi(x, y)$. Предположим сначала, что $\varphi(x, y)$ ограничена, $\left|\varphi(x, y)\right| < M$.

Тогда $\left|\varphi_{n,m}\right| = 4\left|\int_0^1\int_0^1 \left[\varphi(x,\,y)\,\bar{X}_n(x)\,\bar{Y}_m(y)\right]dxdy\right| < 4M$, откуда следует, учитывая, что $\frac{d}{dz}E_{\alpha,\beta}(z) = \frac{1}{\alpha z}\left[E_{\alpha,\beta-1}(z) - (\beta-1)E_{\alpha,\beta}(z)\right]$:

$$\left|\frac{\partial u_{n,m}(x,\,y,\,t)}{\partial t}\right| < 4M\left|\frac{1}{\gamma\left(\lambda_n + l_m\right)\bar{t}^{\gamma}}E_{\gamma,0}\left(\left(\lambda_n + l_m\right)\bar{t}^{\gamma}\right)x^{\alpha-1}E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)y^{\beta-1}E_{\beta,\beta}\left(l_m y^{\beta}\right)\right| < 4M$$

для $t \geq \bar{t}$.

Аналогично, учитывая, что $\left(\frac{d}{dz}\right)^m\left[z^{\beta-1}E_{\alpha,\beta}\left(z^{\alpha}\right)\right] = z^{\beta-m-1}E_{\alpha,\beta-m}\left(z^{\alpha}\right)$:

$$\left|\frac{\partial^2 u_{n,m}(x,y,t)}{\partial x^2}\right| < 4M\left|E_{\gamma,1}\left(\left(\lambda_n + l_m\right)\bar{t}^{\gamma}\right)x^{\alpha-3}E_{\alpha,\alpha-2}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)y^{\beta-1}E_{\beta,\beta}\left(l_m y^{\beta}\right)\right| < 4M$$ для $t \geq \bar{t}$;

$$\left|\frac{\partial^2 u_{n,m}(x,\,y,\,t)}{\partial y^2}\right| < 4M\left|E_{\gamma,1}\left(\left(\lambda_n + l_m\right)\bar{t}^{\gamma}\right)x^{\alpha-1}E_{\alpha,\alpha}\left(\lambda_n x^{\alpha}\right)y^{\beta-3}E_{\beta,\beta-2}\left(l_m y^{\beta}\right)\right| < 4M$$ для $t \geq \bar{t}$.

Из вышеизложенного следует, что при $t > 0$ ряд (15) представляет собой функцию, дифференцируемую почленно один раз по t и два раза по x и по y, а значит, имеющую производные порядков γ, α и β, так как $0 < \gamma < 2$, $1 < \alpha, \beta < 2$.

В заключение отметим, что первая краевая задача для линейного дробного дифференциального уравнения адвекции-диффузии с нулевыми граничными условиями и непрерывным начальным условием решена полностью, причем решена в явном виде.

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы в теории фильтрации жидкости и газов в фрактальной среде, а также при моделировании изменения температуры в неоднородной нагретой пластине.

Библиографический список

1. *Нахушев А.М.* Дробное исчисление и его применение. М. : Физматлит, 2003. 272 с.

2. *Алероев Т.С.* Краевые задачи для дифференциальных уравнений дробного порядка // Сибирские электронные математические известия. 2013. Т. 10. С. 41—55.

3. *Aleroev T.S., Kirane M., Malik S.A.* Determination of a source term for a time fractional diffusion equation with an integral type over-determining condition // Electronic Journal of Differential Equations. 2013. Vol. 2013. No. 270. Pp. 1—16.

4. *Al-Refai M., Luchko Y.* Maximum principle for the multi-term time-fractional diffusion equations with the Riemann-Liouville fractional derivatives // Applied Mathematics and Computation. April 2015. Vol. 257. No. 15. Pp. 40—51.

5. *Zhao K., Gong P.* Existence of Positive Solutions for a Class of Higher-Order Caputo Fractional Differential Equation // Qualitative Theory of Dynamical Systems. 1 April 2015. Vol. 14. No. 1. Pp. 157—171.

6. *Chen T., Liu W., Liu J.* Solvability of periodic boundary value problem for fractional p-Laplacian equation // Applied Mathematics and Computation. 1 October 2014. Vol. 244. Pp. 422—431.

7. *Płociniczak L.* Eigenvalue asymptotics for a fractional boundary-value problem // Applied Mathematics and Computation. 15 August 2014. Vol. 241. Pp. 125—128.

8. *Sudsutad W., Tariboon J.* Boundary value problems for fractional differential equations with three-point fractional integral boundary conditions // Advances in Difference Equations. 28 June 2014. Vol. 2012. 10 p. Режим доступа: http://projecteuclid.org/euclid.jam/1425305752. Дата обращения: 15.02.2015.

9. *Hu Z., Liu W., Liu J.* Boundary value problems for fractional differential equations // Tijdschrift voor Urologie. 17 January 2014. Vol. 2014. No. 1. Po. 1—11.

10. *Tariboon J., Ntouyas S.K., Sudsutad W.* Nonlocal Hadamard fractional integral conditions for nonlinear Riemann-Liouville fractional differential equations // Boundary Value Problems. 2014. Vol. 2014. No. 253. 16 p. Режим доступа: http://www.boundaryvalueproblems.com/content/2014/1/253. Дата обращения: 15.02.2015.

11. *Mardanov M.J., Mahmudov N.I., Sharifov Y.A.* Existence and uniqueness theorems for impulsive fractional differential equations with the two-point and integral boundary conditions // The Scientific World Journal. 2014. Vol. 2014. Article ID 918730. 8 p. Режим доступа: http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/918730/. Дата обращения: 15.02.2015.

12. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. М. : Изд-во МГУ, 1999. 799 с.

13. *Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И.* Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск : Наука и техника, 1987. 688 с.

14. *Джрбащян М.М.* Краевая задача для дифференциального оператора типа Штурма-Лиувилля дробного порядка // Известия АН Армянской ССР. Серия: Математика. 1970. Т. 5. № 2. С. 71—96.

15. *Хасамбиев М.В., Алероев Т.С.* Краевая задача для одномерного дробного дифференциального уравнения адвекции-диффузии // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 71—76.

16. *Алероев Т.С., Алероева Х.Т.* Об одном классе несамосопряженных операторов, сопутствующих дифференциальным уравнениям дробного порядка // Известия высших учебных заведений. Математика. 2014. № 10. С. 3—12.

17. *Aleroev T.S., Aleroeva H.T.* A problem on the zeros of the Mittag-Leffler function and the spectrum of a fractional-order differential operator // Electron. J. Qual. Theory Diff. Equ. 2009. No. 25. 18 p. Режим доступа: https://zbmath.org/?q=an:1183.34004. Дата обращения: 15.02.2015.

18. *Aleroev T.S., Kirane M., Tang Y.-F.* Boundary-value problems for differential equations of fractional order // Journal of Mathematical Sciences. Nov. 2013. Vol. 194. No. 5. Pp. 499—512.

19. *Попов А.Ю., Седлецкий А.М.* Распределение корней функций Миттаг-Леффлера // Современная математика. Фундаментальные направления. 2011. Т. 40. С. 3—171.

Поступила в редакцию в апреле 2015 г.

Об авторе: **Хасамбиев Мохаммад Вахаевич** — аспирант кафедры высшей математики, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, hasambiev@mail.ru.

Для цитирования: *Хасамбиев М.В.* Краевая задача для многомерного дробного дифференциального уравнения адвекции-диффузии // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 35—42.

M.V. Khasambiev

BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR MULTIDIMENSIONAL FRACTIONAL ADVECTION-DISPERSION EQUATION

In recent time there is a very great interest in the study of differential equations of fractional order, in which the unknown function is under the symbol of fractional deriva-

tive. It is due to the development of the theory of fractional integro-differential theory and application of it in different fields.

The fractional integrals and derivatives of fractional integro-differential equations are widely used in modern investigations of theoretical physics, mechanics, and applied mathematics. The fractional calculus is a very powerful tool for describing physical systems, which have a memory and are non-local. Many processes in complex systems have nonlocality and long-time memory. Fractional integral operators and fractional differential operators allow describing some of these properties. The use of the fractional calculus will be helpful for obtaining the dynamical models, in which integro-differential operators describe power long-time memory by time and coordinates, and three-dimensional nonlocality for complex medium and processes.

Differential equations of fractional order appear when we use fractal conception in physics of the condensed medium. The transfer, described by the operator with fractional derivatives at a long distance from the sources, leads to other behavior of relatively small concentrations as compared with classic diffusion. This fact redefines the existing ideas about safety, based on the ideas on exponential velocity of damping. Fractional calculus in the fractal theory and the systems with memory have the same importance as the classic analysis in mechanics of continuous medium.

In recent years, the application of fractional derivatives for describing and studying the physical processes of stochastic transfer is very popular too. Many problems of filtration of liquids in fractal (high porous) medium lead to the need to study boundary value problems for partial differential equations in fractional order.

In this paper the authors first considered the boundary value problem for stationary equation for mass transfer in super-diffusion conditions and abnormal advection. Then the solution of the problem is explicitly given. The solution is obtained by the Fourier's method.

The obtained results will be useful in liquid filtration theory in fractal medium and for modeling the temperature variations in the heated bar.

Key words: equation of fractional order, fractional derivative, the Mittag-Leffler function, eigenfunction, Fourier method, Fourier coefficients.

References

1. Nakhushev A.M. *Drobnoe ischislenie i ego primenenie* [Fractional Calculation and its Application]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003, 272 p. (In Russian)

2. Aleroev T.S. Kraevye zadachi dlya differentsial'nykh uravneniy drobnogo poryadka [Boundary Problems for Differential Equations of Fractional Order]. *Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestiya* [Siberian Electronic Mathematical Reports]. 2013, vol. 10, pp. 41—55. (In Russian)

3. Aleroev T.S., Kirane M., Malik S.A. Determination of a Source Term for a Time Fractional Diffusion Equation with an Integral Type Over-Determining Condition. Electronic Journal of Differential Equations. 2013, vol. 2013, no. 270, pp. 1—16.

4. Al-Refai M., Luchko Y. Maximum Principle for the Multi-Term Time-Fractional Diffusion Equations with the Riemann-Liouville Fractional Derivatives. Applied Mathematics and Computation. April 2015, vol. 257, no. 15, pp. 40—51. DOI: http://dx.doi.org/10.2478/s13540-014-0181-5.

5. Zhao K., Gong P. Existence of Positive Solutions for a Class of Higher-Order Caputo Fractional Differential Equation. Qualitative Theory of Dynamical Systems. April 2015, vol. 14, no. 1, pp. 157—171. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s12346-014-0121-0.

6. Chen T., Liu W., Liu J. Solvability of Periodic Boundary Value Problem for Fractional p-Laplacian Equation. Applied Mathematics and Computation. 1 October 2014, vol. 244, pp. 422—431.

7. Płociniczak L. Eigenvalue Asymptotics for a Fractional Boundary-Value Problem. Applied Mathematics and Computation. 15 August 2014, vol. 241, pp. 125—128.

8. Sudsutad W., Tariboon J. Boundary Value Problems for Fractional Differential Equations with Three-Point Fractional Integral Boundary Conditions. Advances in Difference Equations. 28 June 2012, vol. 2012, 10 p. Available at: http://projecteuclid.org/euclid.jam/1425305752. Date of access: 15.02.2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1186/1687-1847-2012-93.

9. Hu Z., Liu W., Liu J. Boundary Value Problems for Fractional Differential Equations. Tijdschrift voor Urologie. 17 January 2014, vol. 2014, no. 1, pp. 1—11.

10. Tariboon J., Ntouyas S.K., Sudsutad W. Nonlocal Hadamard Fractional Integral Conditions for Nonlinear Riemann-Liouville Fractional Differential Equations. Boundary Value Problems. 2014, vol. 2014, no. 253, 16 p. Available at: http://www.boundaryvalueproblems.com/content/2014/1/253. Date of access: 15.02.2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1186/s13661-014-0253-9.

11. Mardanov M.J., Mahmudov N.I., Sharifov Y.A. Existence and Uniqueness Theorems for Impulsive Fractional Differential Equations with the Two-point and Integral Boundary Conditions. The Scientific World Journal. 2014, vol. 2014, article ID 918730, 8 p. Available at: http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/918730/. Date of access: 15.02.2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1155/2014/918730.

12. Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. *Uravneniya matematicheskoy fiziki* [Equations of Mathematical Physics]. Moscow, MGU Publ., 1999, 799 p. (In Russian)

13. Samko S.G., Kilbas A.A., Marichev O.I. *Integraly i proizvodnye drobnogo poryadka i nekotorye ikh prilozheniya* [Integrals and Derivatives of Fractional Order, and Some of Their Applications]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1987, 688 p. (In Russian)

14. Dzhrbashchyan M.M. Kraevaya zadacha dlya differentsial'nogo operatora tipa Shturma-Liuvillya drobnogo poryadka [Boundary Value Problem for the Differential Operator of Sturm-Liouville Fractional Order]. *Izvestiya AN Armyanskoy SSR. Seriya: Matematika* [News of the Academy of Sciences of Armenian Soviet Socialist Republic. Series: Mathematics]. 1970, vol. 5, no. 2, pp. 71—96. (In Russian)

15. Khasambiev M.V., Aleroev T.S. Kraevaya zadacha dlya odnomernogo drobnogo differentsial'nogo uravneniya advektsii-diffuzii [Boundary Value Problem for One-Dimensional Differential Advection-Dispersion Equation]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 6, pp. 71—76. (In Russian)

16. Aleroev T.S., Aleroeva Kh.T. Ob odnom klasse nesamosopryazhennykh operatorov, soputstvuyushchikh differentsial'nym uravneniyam drobnogo poryadka [On a Class of Self-Adjoint Operators Associated with Differential Equations of Fractional Order]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Matematika* [Russian Mathematics (Izvestiya VUZ. Matematika)]. 2014, no. 10, pp. 3—12. (In Russian)

17. Aleroev T.S., Aleroeva H.T. A Problem on the Zeros of the Mittag-Leffler Function and the Spectrum of a Fractional-Order Differential Operator. Electron. J. Qual. Theory Diff. Equ. 2009, no. 25, 18 p. Available at: https://zbmath.org/?q=an:1183.34004. Date of access: 15.02.2015.

18. Aleroev T.S., Kirane M., Tang Y.-F. Boundary-value Problems for Differential Equations of Fractional Order. Journal of Mathematical Sciences. Nov. 2013, vol. 194, no. 5, pp. 499—512.

19. Popov A.Yu., Sedletskiy A.M. Raspredelenie korney funktsiy Mittag-Lefflera [Distribution of Zeros of the Mittag-Leffler]. *Sovremennaya matematika. Fundamental'nye napravleniya* [Contemporary Mathematics. Fundamental Directions]. 2011, vol. 40, pp. 3—171. (In Russian)

About the author: **Khasambiev Mokhammad Vakhaevich** — post-graduate student, Department of Higher Mathematics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU),** 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; hasambiev@mail.ru.

For citation: Khasambiev M.V. Kraevaya zadacha dlya mnogomernogo drobnogo differentsial'nogo uravneniya advektsii-diffuzii [Boundary Value Problem for Multidimensional Fractional Advection-Dispersion Equation]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 35—42. (In Russian)

УДК 624.072.2.014.2-415

А.Ю. Шаманин
ФБОУ ВПО «МГАВТ»

ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ СТАЛЬНОГО ТОНКОСТЕННОГО ХОЛОДНОГНУТОГО ПЕРФОРИРОВАННОГО ПРОФИЛЯ СО СТАЛЬНОЙ ОБШИВКОЙ

Рассмотрена устойчивость и прочность перекрытия из стального тонкостенного холодногнутого перфорированного профиля со стальной обшивкой. В серии из четырех экспериментов определялись предельные нагрузки потери устойчивости и осевые деформации сжатия перекрытий со стальной обшивкой различной толщины. Результаты испытаний показали влияние толщины обшивки на прочность и устойчивость перекрытий.

Ключевые слова: сталь, тонкостенный цилиндр, холодногнутый профиль, сжатие, стальная обшивка, испытания, потеря устойчивости.

Возведение зданий из стального тонкостенного холодногнутого профиля (СТХП) широко применяется в гражданском строительстве [1, 2]. Широкое применение СТХП находит в судостроении, где требуется создание прочных, легких и теплостойких надстроек и рубок судов и плавучих сооружений [3].

Благодаря перфорации стенок тонкостенного профиля предотвращается потеря тепла. А это, в свою очередь, требует проведения дополнительных расчетов при строительстве, учитывающих взаимодействие различных компонентов в таких системах [4—7].

Обычно в конструкциях из СТХП в качестве обшивки используют ориентированно-стружечные плиты и гипсокартон. Но они не обладают пластическими свойствами, которые требуются в судостроении, так как при эксплуатации судов из-за воздействующих на корпус судна внешних нагрузок происходит общий изгиб корпуса судна и надстройки [8]. В данной работе в качестве материала обшивки надстройки из СТХП рассматриваются стальные оцинкованные листы, которые по своим характеристикам превосходят ориентированно-стружечные плиты и обладают необходимыми для судов пластическими свойствами.

Работы, посвященные изучению перекрытий из СТХП, в основном рассматривают поведение СТХП совместно с обшивками, которые значительно увеличивают несущую способность перекрытий из ориентированно-стружечных плит и гипсокартона [9], поэтому для изучения влияния стальной обшивки на перекрытия из СТХП были проведены испытания перекрытий с различными толщинами стальных обшивок.

Испытание перекрытий на сжатие

Перекрытие из тонкостенного профиля. Эксперимент проводился с образцами, выполненными из стального тонколистового профиля, используемого при строительстве малоэтажных зданий. Испытываемыми образцами были перекрытия, собранные из трех стоек с обшивкой с одной стороны.

© Шаманин А.Ю., 2015

В эксперименте применялись стойки ТС2-200-1,2 и закладные профили ТН2-200-1,2, выполненные из оцинкованной стали 08пс толщиной 1,2 мм согласно ТУ-1122-004-86770581—2009. Размеры поперечного сечения стоек и закладных элементов приведены на рис. 1. Между собой стойка и закладной профиль соединялись при помощи самосверлящихся саморезов [10, 11] по DIN 7504 K.

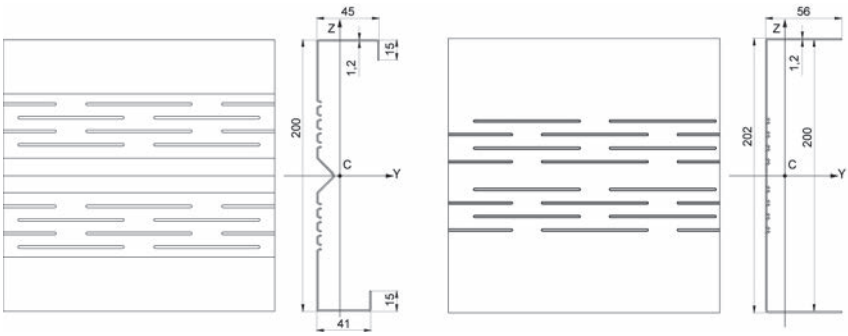


Рис. 1. Поперечное сечение профиля ТС2 (слева) и ТН2 (справа)

Используемая обшивка — стальные листы 08пс по ГОСТ 19904—90 — при помощи самосверлящихся саморезов крепится к профилю: к вертикальным балкам с шагом 300 мм (рекомендации [12]) и к горизонтальным (закладным) балкам — с шагом 150 мм [13].

Перекрытия и обшивки. В лабораторной установке подвергались сжатию перекрытия из трех стоек профиля ТС2-200-1,2 длиной 2,5 м и закладным элементом ТН2-200-1,2 длиной 0,75 м (рис. 2). У трех из четырех испытанных перекрытий была установлена обшивка — стальной лист 08пс толщиной 1, 2 и 3 мм.

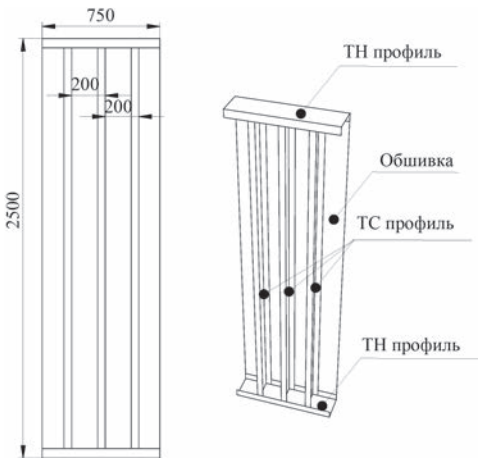


Рис. 2. Внешний вид и схемы испытываемого перекрытия

Оборудование для испытаний и нагрузки. Эксперимент проводился на установке, собранной в лаборатории кафедры судостроения и судоремонта МГАВТ. Установка представляет жесткий контур из двух швеллеров — перекладин и двух швеллеров — направляющих балок, по которым передвигается подвиж-

ный элемент (рис. 3), который приводится в движение гидравлическим домкратом. Сжимающее усилие развивается ручным гидравлическим домкратом с максимальным развиваемым усилием 20 т, сжатие проводилось со средней скоростью 0,7 мм/с [14]. Сжимающая нагрузка передавалась на закладной ТН профиль перекрытия. Для фиксации деформаций перекрытия замеры смещения производились посредством датчиков смещения. В качестве датчиков перемещения применялись движковые переменные резисторы с линейной характеристикой и ходом 60 мм. Изменение напряжения на переменном резисторе фиксировалось электронным самописцем S-Recorder-E, который был подключен к персональному компьютеру. Снимаемые значения сохранялись в оперативной памяти компьютера, по завершении испытаний снятые показания сохранялись в файл формата Comma-Separated Values (csv) и в дальнейшем обрабатывались в табличном редакторе MS Excel [15]. Усилие, развиваемое гидравлическим домкратом, определялось гидравлическим манометром, установленным на домкрате. Снятие показаний с манометра происходило визуально.

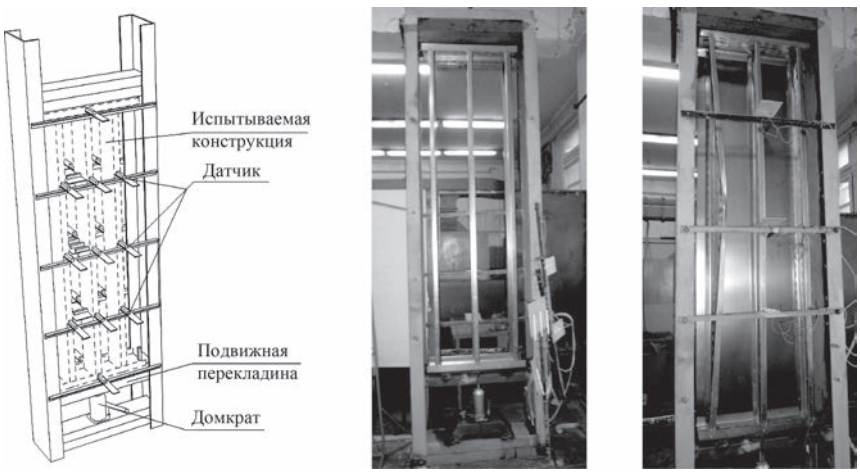


Рис. 3. Схема и фотографии установки при проведении испытаний

Результаты испытаний

Результаты проведенных испытаний приведены в табл.

Результаты испытаний перекрытий с обшивками различной толщины на сжатие

Номер испытания	Толщина обшивки, мм	Количество стоек	Пиковая нагрузка на перекрытие, кН
1	—	3	22,06
2	1	3	66,18
3	2	3	86,04
4	3	3	72,80

На рис. 4 приведена диаграмма нагружения, связывающая величину сжатия перекрытия и нагрузку, вызвавшую это сжатие. Рис. 4 демонстрирует увеличение предельно воспринимаемой нагрузки перекрытия, увеличение держащей силы в 2—3 раза и увеличение деформации сжатия в 2 раза.

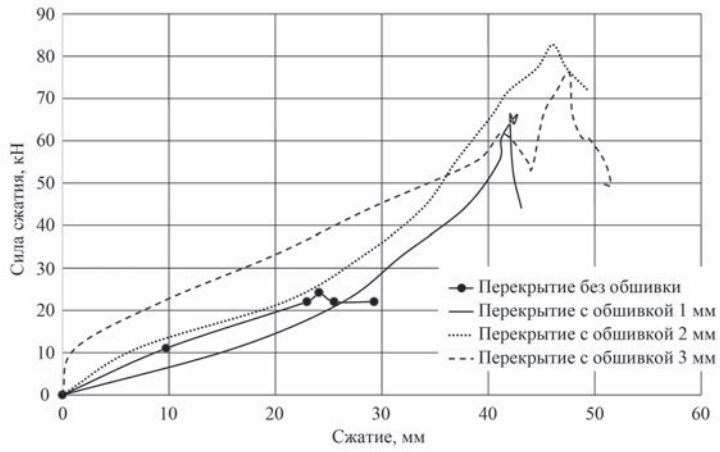
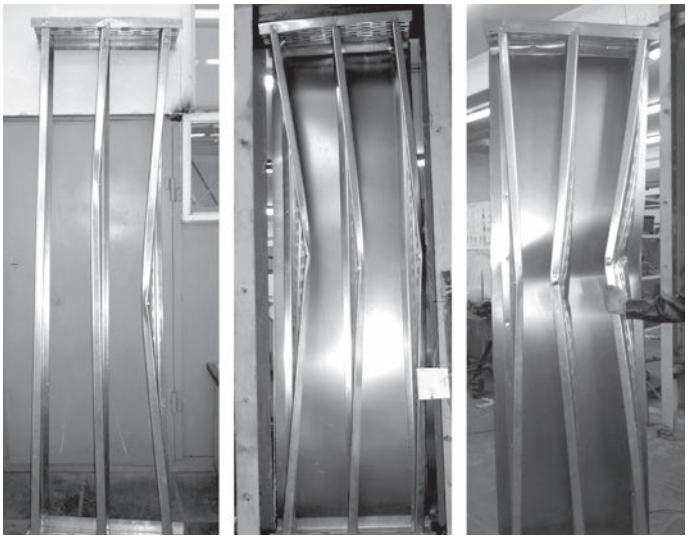


Рис. 4. Диаграмма нагружения для перекрытий с различной обшивкой (нагрузка приведена в пересчете на одну стойку)

При испытании перекрытия без обшивки устойчивость потеряла только одна стойка. Вследствие общей потери устойчивости стойки возникли значительные общие деформации, которые привели к местной потере устойчивости полки, при этом остальные стойки получили незначительные деформации (рис. 5).



а *б* *в*

Рис. 5. Формы потери устойчивости перекрытий: *а* — профиля в перекрытии без обшивки; *б* — профиля в перекрытии с обшивкой; *в* — профиля и обшивки в перекрытии

При испытании перекрытий с обшивками наблюдалось значительное увеличение деформаций сжатия перекрытий — в два раза и увеличение держащей силы в 2—3 раза, что также наблюдалось при проведении экспериментов с обшивками из ОСБ и гипсокартона [16]. После достижения предельных сжимающих нагрузок наблюдалась изгибно-крутильная форма потери устойчивости стоек, причем при дальнейшем нагружении после достижения пикового зна-

чения запас несущей способности, по сравнению с перекрытием без обшивки, отсутствовал.

Выводы. Обшивка оказывает влияние на прочность (потерю устойчивости) стального тонкостенного профиля в перекрытии. Серия экспериментов с различными толщинами стальной обшивки с одной стороны перекрытия показала, что обшивка оказывает значительное влияние на величину силы потери устойчивости (увеличение предельной воспринимаемой нагрузки перекрытием в 2,7…3,4 раза, в зависимости от толщины обшивки). Вероятно, наличие обшивки с двух сторон (стальной обшивки с одной стороны и, например, обшивки из гипсокартона или пластмасс — с другой) позволит исключить или уменьшить возникновение потери устойчивости формы и кручения, что значительно повысит несущую способность перекрытия [17].

В дальнейшем необходимо сравнить результаты эксперимента и результаты, получаемые из методик, используемых для расчета потери устойчивости конструкций из СТХП [18—21], с обшивками из ориентированно-стружечных плит и гипсокартона и, основываясь на результатах экспериментов, разработать рекомендации по расчету конструкций из СТХП со стальными обшивками.

Библиографический список

1. *Слугачева Е.В.* Легкие стальные тонкостенные конструкции // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2013. № 5 (июнь). С. 6—9.

2. *Санталова Т.Н., Богарев И.С.* Малоэтажное строительство по каркасной технологии // Сб. науч. тр. Sworld по материалам Междунар. науч.-практ. конф. 2011. Т. 29. № 3. С. 15—17.

3. *Шаманин А.Ю.* О применение стального тонкостенного холодногнутого профиля в круизном речном флоте // Инновационные преобразования, приоритетные направления и тенденции развития в экономике, проектном менеджменте, образовании, юриспруденции, языкознании, культурологии, экологии, зоологии, химии, биологии, медицине, психологии, политологии, филологии, философии, социологии, градостроительстве, информатике, технике, математике, физике : сб. науч. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. 29—30 апреля 2014 г. СПб. : КультИнформПресс, 2014. С. 183—186.

4. EN 1993-1-3:2004. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1—3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов. 2004. Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200089713/. Дата обращения: 20.02.2015.

5. *Ватин Н.И., Попова Е.Н.* Термопрофиль в легких стальных строительных конструкциях. СПб. : Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2006. 64 с.

6. *Кикоть А.А., Григорьев В.В.* Влияние ширины пояса и параметров стенки на эффективность стального тонкостенного холодногнутого профиля сигма-образного сечения при работе на изгиб // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1 (36). С. 97—102.

7. *Зебельян З.Х.* Основы расчета перфорированных пластинчатых элементов термопрофилей // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 2. С. 17—23.

8. *Волков В.М.* Прочность корабля. Н. Новгород : Изд-во НГТУ, 1994. 256 с.

9. *Shifferaw Y., Vieira Jr. L.C.M., Schafer B.W.* Compression testing of cold-formed steel columns with different sheathing configurations // Proceedings of the Structural Stability Research Council — Annual Stability Conference. Orlando, FL, 2010. Pp. 593—612.

10. *Куражова В.Г., Назмеева Т.В.* Виды узловых соединений в легких стальных тонкостенных конструкциях // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 3. С. 47—52.

11. *Tan S.H., Seah L.K., Fok S.C.* Connections in cold-formed thin-walled structures // Computers & Structures. 1996. Vol. 60. No. 1. Pp. 169—172.

12. *Айрумян Э.Л.* Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО «Балт-Профиль». М. : ЦНИИПСК им. Мельникова, 2004. 70 с.

13. *Катранов И.Г.* Эффективность применения болтов и самосверлящих самонарезающих винтов в соединениях тонкостенных стальных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. № 5 (148). С. 30—31.

14. *Назмеева Т.В.* Методика проведения испытаний на сжатие стоек, выполненных из холодногнутого стального профиля // Вестник Череповецкого государственного университета. 2013. Т. 1. № 3 (49). С. 12—17.

15. *Winn A.P., Чжо Т., Трояновский В.М., Аунг Я.Л.* Методика и программа для накопления и статистического анализа результатов компьютерного эксперимента // Компьютерные исследования и моделирование. 2013. Т. 5. № 4. С. 589—595.

16. *Shifferaw Y., Vieira Jr. L.C.M., Schafer B.W.* Compression testing of cold-formed steel columns with different sheathing configurations // Structural Stability Research Council — Annual Stability Conference, SSRC 2010 — Proceedings 2010 Annual Stability Conference, SSRC 2010. Orlando, FL, 2010. Pp. 593—612.

17. *Foroughi H., Moen C.D., Myers A., Tootkaboni M., Vieira L., Schafer B.W.* Analysis and design of thin metallic shell structural members-current practice and future research needs // Proc. of Annual Stability Conference Structural Stability Research Council, Toronto, Canada, March 2014. Режим доступа: http://nuweb5.neu.edu/atm/wp-content/uploads/2014/04/SSRC%202014%20Foroughi%20et%20al%20thin%20shells%20review.pdf/. Дата обращения: 20.02.2015.

18. *Li Z., Schafer B.W.* The constrained finite strip method for general end boundary conditions // Structural Stability Research Council — Annual Stability Conference, SSRC 2010 — Proceedings 2010 Annual Stability Conference, SSRC 2010. Orlando, FL, 2010. Pp. 573—591.

19. *Рыбаков В.А., Недвига П.Н.* Эмпирические методы оценки несущей способности стальных тонкостенных просечно-перфорированных балок и балок со сплошной стенкой // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 27—30.

20. *Туснина О.А., Хейнисуо М.* Методика расчета тонкостенных гнутых прогонов на основе рекомендаций Eurocode // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 11. С. 67—70.

21. *Vatin N., Sinelnikov A., Garifullin M., Trubina D.* Simulation of cold-formed steel beams in global and distortional buckling // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 633—634. Pp. 1037—1041.

Поступила в редакцию в марте 2015 г.

Об авторе: **Шаманин Александр Юрьевич** — старший преподаватель, аспирант кафедры судостроения и судоремонта, **Московская государственная академия водного транспорта (ФБОУ ВПО «МГАВТ»)**, 115407, г. Москва, Новоданиловская наб., д. 2, корп. 1, pro4nost@yandex.ru.

Для цитирования: *Шаманин А.Ю.* Испытание на сжатие стального тонкостенного холодногнутого перфорированного профиля со стальной обшивкой // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 43—51.

A.Yu. Shamanin

COMPRESSION TEST OF COLD-FORMED STEEL PERFORATED PROFILE WITH STEEL SHEATHING

The subject of this paper is the stability and strength of cold-formed and perforated steel sigma-section columns with steel sheathing of different thickness. Ceilings with and without steel sheathing of different thickness are tested to failure in compression on a laboratory machine, which was based on a manual hydraulic jack. Series of 4 experiments with full-scale walls (2.5 m height) were carried out.

Also, for examination of the role of boundary conditions, the sheet in a ceiling is either left free or connected to base with screws.

In civil engineering there are many experiments and methodologies for calculating the strength and buckling of ceiling with the sheathing of various materials, such as oriented strand board and gypsum board. However, for producing superstructures of ships the materials with high plastic properties and strength characteristics are required. For example steel possesses such properties. It was the main reason for conducting a series of experiments and studying the behavior of cold-formed steel columns with steel sheathing. During the experiments the deformation of the cross-section of three equally spaced cross sections was determined, as well as the axial deformation of the central column in the ceiling with steel sheathing.

The test results showed the influence of the thickness of sheathing and boundary condition of a sheet on the strength and buckling of ceiling. According to the results of the tests it is necessary to evaluate the impact of the sheathing made of different materials and if necessary to carry out further tests.

Key words: steel, thin-walled cylinder, cold-formed profile, compression, steel sheathing, testing, buckling.

References

1. Slugacheva E.V. Legkie stal'nye tonkostennye konstruktsii [Lightweight Steel Thin-Walled Structures]. *Prioritetnye nauchnye napravleniya: ot teorii k praktike* [Priority Scientific Fields: from Theory to Practice]. 2013, no. 5 (June), pp. 6—9. (In Russian)

2. Santalova T.N., Bogarev I.S. Maloetazhnoe stroitel'stvo po karkasnoy tekhnologii [Low-rise Construction Basing on Frame Technology]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Collection of Scientific Works of Sworld : from the Materials of the International Science and Practice Conference]. 2011, vol. 29, no. 3, pp. 15—17. (In Russian)

3. Shamanin A.Yu. O primenenie stal'nogo tonkostennogo kholodnognutogo profilya v kruiznom rechnom flote [On Applying Steel Thin-Walled Cold-Formed Profile in Cruise River Fleet]. *Innovatsionnye preobrazovaniya, prioritetnye napravleniya i tendentsii razvitiya v ekonomike, proektnom menedzhmente, obrazovanii, yurisprudentsii, yazykoznanii, kul'turologii, ekologii, zoologii, khimii, biologii, meditsine, psikhologii, politologii, filologii, filosofii, sotsiologii, gradostroitel'stve, informatike, tekhnike, matematike, fizike : sbornik nauchnykh statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 29—30 aprelya 2014 goda* [Innovative Transformations, Priority Directions and Tendencies of the Development in Economy, Project Management, Education, Law, Linguistics, Culturology, Sociology, Urban Development, Computer Science, Technology, Mathematics, Physics : Collection of Scientific Articles of the International Science and Practice Conference, April 29—30, 2014]. Saint Petersburg, Kul'tInformPress Publ., 2014, pp. 183—186. (In Russian)

4. *EN 1993-1-3:2004. Evrokod 3. Proektirovanie stal'nykh konstruktsiy. Chast' 1—3. Obshchie pravila. Dopolnitel'nye pravila dlya kholodnoformovannykh elementov i profilirovannykh listov* [EN 1993-1-3:2004. Eurocode 3. Design of Steel Structures. Part 1—3. General Rules. Additional Rules for Cold-Formed Elements and Shaped Sheets]. 2004. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200089713/. Date of access: 20.02.2015. (In Russian)

5. Vatin N.I., Popova E.N. *Termoprofil' v legkikh stal'nykh stroitel'nykh konstruktsiyakh* [Thermal Profile in Lightweight Steel Building Structures]. Saint Petersburg, St. Petersburg Polytechnic University Publ., 2006, 64 p. (In Russian)

6. Kikot' A.A., Grigor'ev V.V. Vliyanie shiriny poyasa i parametrov stenki na effektivnost' stal'nogo tonkostennogo kholodnognutogo profilya sigmaobraznogo secheniya pri rabote na izgib [Influence of the Stake Width and Wall Parametres on the Efficiency of Steel Then-Walled Cold-Formed Profile of Sigmoid Cross-Section at Bending]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2013, no. 1 (36), pp. 97—102. (In Russian)

7. Zebel'yan Z.Kh. Osnovy rascheta perforirovannykh plastinchatykh elementov termoprofiley [Foundations of Calculating Perforated Plated Elements of Thermal Profiles]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2015, no. 2, pp. 17—23. (In Russian)

8. Volkov V.M. *Prochnost' korablya* [Ship Strength]. N. Novgorod, NGTU Publ., 1994, 256 p. (In Russian)

9. Shifferaw Y., Vieira Jr. L.C.M., Schafer B.W. Compression Testing of Cold-Formed Steel Columns with Different Sheathing Configurations. Proceedings of the Structural Stability Research Council — Annual Stability Conference. Orlando, FL, 2010, pp. 593—612.

10. Kurazhova V.G., Nazmeeva T.V. Vidy uzlovykh soedineniy v legkikh stal'nykh tonkostennykh konstruktsiyakh [Types of Joint Connections in Lightweight Steel Thin-Walled Structures]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2011, no. 3, pp. 47—52. (In Russian)

11. Tan S.H., Seah L.K., Fok S.C. Connections in Cold-Formed Thin-Walled Structures. Computers & Structures. 1996, vol. 60, no. 1, pp. 169—172.

12. Ayrumyan E.L. *Rekomendatsii po proektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu konstruktsiy karkasa maloetazhnykh zdaniy i mansard iz kholodnognutykh stal'nykh otsinkovannykh profiley proizvodstva OOO «Balt-Profil'»* [Recommendations on Design, Production and Erection of the Frame Structures of Low-Rise Buildings and Mansards of Cold-Formed Steel Galvanized Sidings Produced by LLC "Balt-Profil'"]. Moscow, TsNIIPSK im. Mel'nikova Publ., 2004, 70 p. (In Russian)

13. Katranov I.G. Effektivnost' primeneniya boltov i samosverlyashchikh samonarezayushchikh vintov v soedineniyakh tonkostennykh stal'nykh konstruktsiy [Efficiency of Applying Bolts and Self-Drilling Thread Forming Screws in the Joints of Thin-Walled Steel Structures]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, Equipment and Technologies of the 21st Century]. 2011, no. 5 (148), pp. 30—31. (In Russian)

14. Nazmeeva T.V. Metodika provedeniya ispytaniy na szhatie stoek, vypolnennykh iz kholodnognutogo stal'nogo profilya [Methods of Performing Compression Tests of Beams Made of Cold-Formed Steel Profile]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin]. 2013, vol. 1, no. 3 (49), pp. 12—17. (In Russian)

15. Winn A.P., Kyaw H., Troyanovskyi V.M., Aung Y.L. Metodika i programma dlya nakopleniya i statisticheskogo analiza rezul'tatov komp'yuternogo eksperimenta [Methodology and program for the storage and statistical analysis of the results of computer experiment]. *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie* [Computer Research and Modeling]. 2013, vol. 5, no. 4, pp. 589—595. (In Russian)

16. Shifferaw Y., Vieira Jr. L.C.M., Schafer B.W. Compression Testing of Cold-Formed Steel Columns with Different Sheathing Configurations. Structural Stability Research Council — Annual Stability Conference, SSRC 2010 — Proceedings 2010 Annual Stability Conference, SSRC 2010. Orlando, FL, 2010, pp. 593—612.

17. Foroughi H., Moen C.D., Myers A., Tootkaboni M., Vieira L., Schafer B.W. Analysis and Design of Thin Metallic Shell Structural Members-Current Practice and Future Research Needs. Proc. of Annual Stability Conference Structural Stability Research Council, Toronto, Canada, March 2014. Available at: http://nuweb5.neu.edu/atm/wp-content/uploads/2014/04/SSRC%202014%20Foroughi%20et%20al%20thin%20shells%20review.pdf/. Date of access: 20.02.2015.

18. Li Z., Schafer B.W. The Constrained Finite Strip Method for General end Boundary Conditions. Structural Stability Research Council — Annual Stability Conference, SSRC 2010 — Proceedings 2010 Annual Stability Conference, SSRC 2010. Orlando, FL, 2010, pp. 573—591.

19. Rybakov V.A., Nedviga P.N. Empiricheskie metody otsenki nesushchey sposobnosti stal'nykh tonkostennykh prosechno-perforirovannykh balok i balok so sploshnoy stenkoy [Empirical Methods of Estimating the Bearing Capacity of Steel Thin-Walled Expanded-Perforatef Beams and Beams with Solid Wall]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2009, no. 8, pp. 27—30. (In Russian)

20. Tusnina O.A., Heinisuo M. Metodika rascheta tonkostennykh gnutykh progonov na osnove rekomendatsiy Eurocode [Methods of Calculating Thin-Walled Bent Beams Basing on Eurocode Recommendations]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2012, no. 11, pp. 67—70. (In Russian)

21. Vatin N., Sinelnikov A., Garifullin M., Trubina D. Simulation of Cold-Formed Steel Beams in Global and Distortional Buckling. Applied Mechanics and Materials. 2014, vol. 633—634, pp. 1037—1041. DOI: http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.633-634.1037.

About the author: **Shamanin Aleksandr Yur'evich** — Senior Lecturer, postgraduate student, Department of Shipbuilding and Ship Repair, **Moscow State Academy of Water Transport (MSAWT)**, 2-1 Novodanilovskaya nab., Moscow, 115407, Russian Federation; pro4nost@yandex.ru.

For citation: Shamanin A.Yu. Ispytanie na szhatie stal'nogo tonkostennogo kholodnognutogo per-forirovannogo profilya so stal'noy obshivkoy [Compression Test of Cold-Formed Steel Perforated Profile with Steel Sheathing]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 43—51. (In Russian)

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

УДК 624.154

А.З. Тер-Мартиросян, З.Г. Тер-Мартиросян, Чинь Туан Вьет, И.Н. Лузин
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ОСАДКА И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДЛИННОЙ СВАИ

Приведены постановка и аналитическое решение задачи для количественной оценки осадки круглого фундамента с учетом его глубины заложения на основе развития задачи Миндлина, а также взаимодействия длинной жесткой сваи с окружающим грунтом, в т.ч. под пятой сваи. Предложено расчетное значение давления под пятой сваи сравнивать с начальной критической нагрузкой для круглого фундамента для проверки условия, что расчетное значение меньше начального критического.

Ключевые слова: грунт, основание, длинная свая, осадка, несущая способность, предельное равновесие, начальная критическая нагрузка.

При взаимодействии длинной сваи с окружающим грунтом общее усилие, приложенное к оголовку сваи, распределяется между боковой поверхностью и пятой сваи неравномерно. На долю пяты приходится не более 30 % общего усилия, что не позволяет использовать резервы несущей способности сравнительно плотных грунтов под пятой сваи [1].

Учет глубины расположения пяты сваи, а также собственного веса грунтов позволяет повысить несущую способность грунтов под пятой сваи и уменьшить осадку сваи в целом. Для количественной оценки этих факторов необходимо решение задачи о взаимодействии жесткой длинной сваи с окружающим грунтом, в т.ч. под пятой сваи, представляющей абсолютно жесткий штамп круглой формы.

В первую очередь рассмотрим задачу об осадке штампа круглой формы, расположенного на глубине h от дневной поверхности.

Осадка фундамента (штампа) круглой формы в плане, расположенного на глубине h от дневной поверхности. Для решения этой задачи необходимо воспользоваться известным решением задачи Миндлина о силе приложенной внутри линейно-деформируемого полупространства [2]

$$W = \frac{P}{16\pi G(1-\nu)}\left[\frac{3-4\nu}{R_1} + \frac{8(1-\nu)^2-(3-4\nu)}{R_2} + \frac{(z-c)^2}{R_1^3} + \right.$$
$$\left. + \frac{(3-4\nu)(z+c)^2 - 2cz}{R_2^3} + \frac{6cz(z+c)^2}{R_2^5}\right], \qquad (1)$$

где $R_1 = \left(r^2 + (z-c)^2\right)^{\frac{1}{2}}$; $R_2 = \left(r^2 + (z+c)^2\right)^{\frac{1}{2}}$; $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$; ν — коэффициент относительного бокового расширения грунта (коэффициент Пуассона); R —

© Тер-Мартиросян А.З., Тер-Мартиросян З.Г., Чинь Туан Вьет, Лузин И.Н., 2015

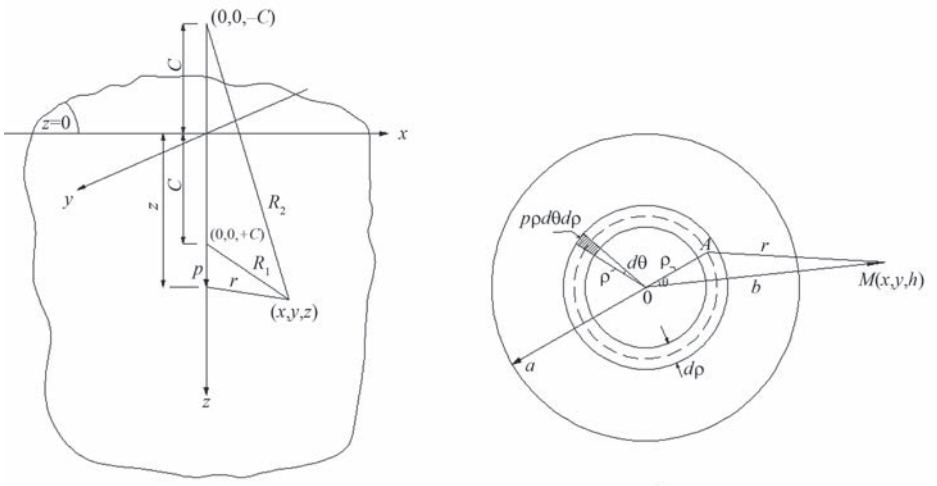
расстояние по горизонтали от линии действия силы до рассматриваемой точки; z — глубина рассматриваемой точки; c — глубина приложения силы P; E — модуль общей деформации грунта.

Для определения осадки любой точки на глубине $z = c = h$ от действия силы P, приложенной в точке (0, 0, c), достаточно в (1) поставить $z = c = h$, т.е. получаем

$$W = \frac{P}{16\pi G(1-\nu)}\left[\frac{3-4\nu}{R_1} + \frac{8(1-\nu)^2-(3-4\nu)}{R_2} + \frac{(3-4\nu)4h^2-2h^2}{R_2^3} + \frac{24h^4}{R_2^5}\right], \quad (2)$$

где $R_1 = r$; $R_2 = \left(r^2+4h^2\right)^{\frac{1}{2}}$; $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$.

Для определения осадки в точке M на расстоянии b от центра и на глубине $z = c$ от действия равномерно распределенной нагрузки p по площади круга радиусом a следует интегрировать (2) в пределах этой площади (рис. 1, *б*) [3—6].



а *б*

Рис. 1. Расчетная схема задачи Миндлина (*а*) и действия равномерно распределенной нагрузки p по площади круга диаметром $d = 2a$ на глубине $z = c$ (*б*)

$$S_m = \frac{\pi a^2 p(1+\nu)}{8\pi E(1-\nu)}\int_0^{2\pi}\int_0^{a}\left[\frac{3-4\nu}{r} + \frac{8(1-\nu)^2-(3-4\nu)}{\left(r^2+(2h)^2\right)^{\frac{1}{2}}} + \frac{(3-4\nu)4h^2-2h^2}{\left(r^2+(2h)^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{24h^4}{\left(r^2+(2h)^2\right)^{\frac{5}{2}}}\right] r\,dr\,d\theta, \quad (3)$$

где $r = \left(\rho^2+b^2-2b\rho\cos\theta\right)^{\frac{1}{2}}$.

В центре круга, т.е. при $b = 0$ и $r = \rho$, определим максимальную осадку

$$S_0 = \frac{\pi a^2 pd(1+\nu)}{8E(1-\nu)}\left[(3-4\nu)+\left(8(1-\nu)^2-(3-4\nu)\right)\left(\sqrt{1+4\left(\frac{h}{a}\right)^2}-\sqrt{4\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right)+\right.$$
$$+\left(16\nu-10\left(\frac{h}{a}\right)^2\left(\frac{1}{\sqrt{1+4\left(\frac{h}{a}\right)^2}}-\frac{1}{\sqrt{4\left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right)\right)+ \quad (4)$$
$$\left.+\left(8\left(\frac{h}{a}\right)^4\left(\frac{1}{\left(\sqrt{4\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right)^3}-\frac{1}{\left(\sqrt{1+4\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right)^3}\right)\right)\right].$$

Эту зависимость можно представить в виде

$$S_0 = \frac{\pi a^2 pd\left(1-\nu^2\right)}{E}K_c = \frac{\pi a^2 pd(1-\nu)}{2G}K_c, \quad (5)$$

где $K_c = \frac{1}{8(1-\nu)^2}\left[(3-4\nu)+\left(\left(8(1-\nu)^2-(3-4\nu)\right)\left(\sqrt{1+4\left(\frac{h}{a}\right)^2}-\sqrt{4\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right)\right)+\right.$

$$+\left((16\nu-10)\left(\frac{h}{a}\right)^2\left(\frac{1}{\sqrt{1+4\left(\frac{h}{a}\right)^2}}-\frac{1}{\sqrt{4\left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right)\right)+ \quad (6)$$
$$\left.+\left(8\left(\frac{h}{a}\right)^4\left(\frac{1}{\left(\sqrt{4\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right)^3}-\frac{1}{\left(\sqrt{1+4\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right)^3}\right)\right)\right].$$

Видно, что безразмерный коэффициент K_c по формуле (6) зависит от соотношения h/a и коэффициента Пуассона υ (рис. 2).

Для определения максимальной осадки от действия равномерно распределенной нагрузки p, кПа, по площадки круга $d = 2a$ следует воспользоваться формулой (5) и графиками на рис. 2.

При следующих параметрах: $a = 3$ м; $P = 400$ кН; $E = 30$ мПа, сопоставление результатов приведено на рис. 3.

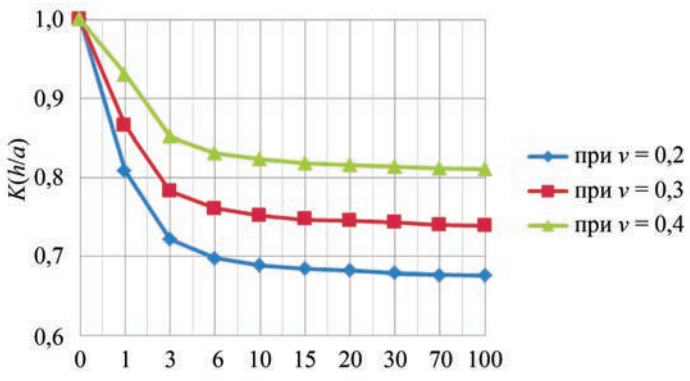


Рис. 2. Зависимости K_c (ν, h/a) при ν = 0,2; 0,3; 0,4

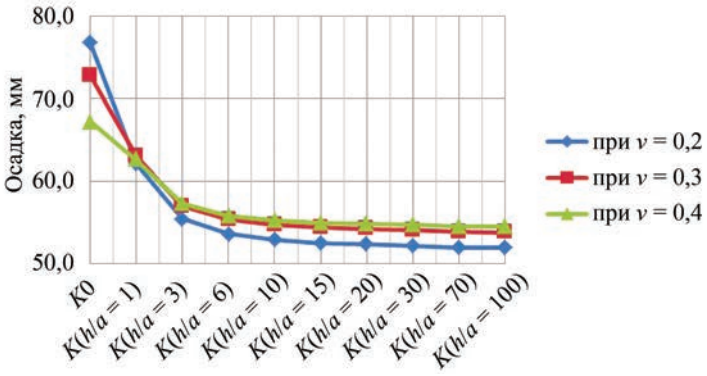


Рис. 3. Зависимость осадки круглого штампа в зависимости от h/a и коэффициента Пуассона υ

Для определения средней осадки следует вместо (5) воспользоваться формулой вида

$$\overline{S} = \left(S_0 + S_a\right)/2, \tag{7}$$

где S_a — осадка на контурной линии круга, т.е.

$$S_a = 2S_0/\pi. \tag{8}$$

О несущей способности фундамента глубокого заложения круглой формы в плане. В [7] приводятся постановка и решение задачи по определению начальной критической нагрузки P_0^* под фундаментом круглой формы в плане. Показано, что критическое состояние возникает под фундаментом на глубине

$$z_{\max} = a\sqrt{\frac{2(1+\upsilon)}{7-2\upsilon}}. \tag{9}$$

Причем, при υ = 0,3, $z_{\max}$ = 0,637a, а $\tau/\tau_{\max}$ = 0,338.

Кроме того, критическое состояние возникло на контурной линии $r = a$ под воздействием радиального σ_r и тангенциального σ_t напряжений.

Сравнение показало, что начальное критическое состояние в основании круглого фундамента возникает раньше, чем под центром фундамента и оно меньше. Приводим окончательный вид начальной критической нагрузки на контуре круглого фундамента [8—11].

$$P_0^* = \gamma d + \frac{2\gamma d \sin\varphi + 2c\cos\varphi}{1-2\upsilon}, \quad (10)$$

где γ — удельный вес грунта выше подошвы фундамента; d — глубина заложения фундамента; φ и c — параметры прочности грунта; υ — коэффициент Пуассона.

Сравнение P_0^* из (10) с начальной критической нагрузкой по решению Пузыревского [12, 13] в предположении равенства ($b = 2a$) показало, что P_0^* и начальная критическая нагрузка круглого фундамента при исходных данных $\gamma = 18$ кН/м^3, $c = 20$ кПа, $\varphi = 15°$, $d = 5$ м, совпадают, т.е. $P_0^* = 303$ кПа.

Учитывая, что далее в настоящей работе рассматривается задача о взаимодействии длинной жесткой сваи с окружающим грунтом, в т.ч. под пятой сваи, расчетное напряжение сравним с начальной критической нагрузкой (10), чтобы обеспечить условие [14, 15]

$$\sigma_p \le P_0^*. \quad (11)$$

Взаимодействие длинной жесткой сваи с окружающим грунтом. Из [16—19] известно, что осадка жесткой сваи под действием касательных напряжений по боковой поверхности определяется по зависимости

$$S_б = \tau_a \frac{a}{G} \ln(b/a), \quad (12)$$

где a — радиус сваи; b — радиус зоны влияния сваи.

Осадку под пятой сваи длиной l определим по формуле (7) с учетом (8) и K_c

$$\overline{S_R} = \frac{pd}{8E_г}\left(1+\frac{2}{\pi}\right)K_c\left(\upsilon_1,\ l/a\right), \quad (13)$$

где R — давление под пятой сваи; $E_г$ — модуль деформации грунтов под пятой сваи; υ_1 — коэффициент Пуассона грунтов выше пяты сваи.

При равновесии $S_б$ и $\overline{S_R}$ из (12) и (13) получаем

$$\frac{pd}{8E_г}\left(1+\frac{2}{\pi}\right)K_c = \tau_a \frac{a}{G_1}\ln(l/a). \quad (14)$$

Учитывая, что $p = R/\pi a^2$ и $\tau_a = T/2\pi al$, получаем [20, 21]

$$R = T\frac{E_г}{G_1}\ln(l/a)\frac{a}{(1+2/\pi)K_c l}. \quad (15)$$

Из условия равновесия имеем

$$N = R + T, \quad (16)$$

тогда $T = N/D$, (17)

где $D = 1 + \frac{E_г}{G_1}\ln(l/a)\frac{1{,}56a}{K_c l}$; (18)

$$R = N/B, \quad (19)$$

где $B = \frac{E_г \ln(l/a)1{,}56a}{G_1 K_c l + E_г \ln(l/a)1{,}56a}$. (20)

Из анализа (20) следует, что учет влияния глубины K_c на распределение N между R и T существенен, причем с ростом длины сваи l это влияние растет.

Выводы. 1. Осадка круглого в плане фундамента существенно зависит от глубины его расположения, что обусловлено эффектом задачи Миндлина.

2. Учет влияния глубины заложения круглого фундамента в задаче о взаимодействии длинной жесткой сваи с окружающим грунтом и под пятой сваи показан, что оно существенно, причем с ростом длины сваи это влияние растет.

Библиографический список

1. *Надаи А.* Пластичность и разрушение твердых тел. Т. 2 / пер. с англ. М. : Мир, 1969. 853 с.

2. *Флорин В.А.* Основы механических грунтов. Т. 1. М. : Госстройиздат, 1959. 356 с.

3. *Теличенко В.И., Тер-Мартиросян З.Г.* Взаимодействие сваи большой длины с нелинейно-деформируемым массивом грунта // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 22—27.

4. *Тер-Мартиросян З.Г., Нгуен Занг Нам.* Взаимодействие свай большой длины с неоднородным массивом с учетом нелинейных и реологических свойств грунтов // Вестник МГСУ. 2008. № 2. С. 3—14.

5. *Тер-Мартиросян З.Г., Чинь Туан Вьет*. Взаимодействие одиночной длинной сваи с основанием с учетом сжимаемости ствола сваи // Вестник МГСУ. 2011. № 8. С. 104—110.

6. *Mattes N.S., Poulos H.G.* Settlement of single compressible pile // Journal SoilMech. Foundation ASCE. 1969. Vol. 95, No. 1. Pp. 189—208.

7. *Тер-Мартиросян З.Г., Тер-Мартиросян А.З., Сидоров В.В.* Начальное критическое давление под подошвой круглого фундамента и под пятой буронабивной сваи круглого сечения // Естественные и технические науки. 2014. № 11—12 (78). С. 372—376.

8. *Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С.* Прогноз осадок свайных фундаментов / под ред. А.А. Бартоломея. М. : Стройиздат, 1994. 384 с.

9. *Coyle H.M., Reese L.C.* Load transfer for axially loaded piles in clay // Journal Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE. March1996. Vol. 92. No. 2. Pp. 1—26.

10. *Randolph M.F., Wroth C.P.* Analysis of deformation of vertically loaded piles // Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers. 1978. Vol. 104. No. 12. Pp. 1465—1488.

11. *Van Impe W.F.* Deformations of deep foundations // Proc. 10th Eur. Conf. SM & Found. Eng., Florence. 1991. Vol. 3. Pp. 1031—1062.

12. *Тер-Мартиросян З.Г.* Механика грунтов. М. : Изд-во АСВ, 2009. 550 с.

13. *Prakash S., Sharma H.D.* Pile foundation in engineering practice. John Wiley & Sons, 1990. 768 p.

14. *Малышев М.В., Никитина Н.С.* Расчет осадок фундаментов при нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1982. № 2. С. 21—25.

15. *Joseph E.B.* Foundation analysis and design. McGraw-Hill, Inc, 1997. 1240 p.

16. *Тер-Мартиросян З.Г., Струнин П.В., Чинь Туан Вьет.* Сжимаемость материала сваи при определении осадки в свайном фундаменте // Жилищное строительство. 2012. № 10. С. 13—15.

17. *Hansen J.B.* Revised and extended formula for bearing capacity // Bulletin 28. Danish Geotechnical Institute. Copenhagen, 1970. Pp. 5—11.

18. *Vijayvergiya V.N.* Load-Movement characteristics of piles // Proc. Port 77 conference, American Society of Civil Engineers, Long Beach, CA, March 1977. Pp. 269—284.

19. *Booker J., Poulos H.G.* Analysis of creep settlement of pile foundation // Journal Geotechnical Engineering division. ASCE. 1976. Vol. 102. No. 1. Pp. 1—14.

20. *Poulos H.G., Davis E.H.* Pile foundation analysis and design. New York : John Wiley and Sons, 1980. 397 p.

21. *Seed H.B., Reese L.C.* The action of soft clay along friction piles // Trans., ASCE. 1957. Vol. 122. No. 1. Pp. 731—754.

Поступила в редакцию в апреле 2015 г.

Об авторах: **Тер-Мартиросян Армен Завенович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики грунтов и геотехники, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, mgroif@mail.ru;

Тер-Мартиросян Завен Григорьевич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики грунтов и геотехники, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, mgroif@mail.ru;

Чинь Туан Вьет — аспирант кафедры механики грунтов и геотехники, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, viettt20012007@gmail.com;

Лузин Иван Николаевич — аспирант кафедры механики грунтов и геотехники, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, inluzin@gmail.com.

Для цитирования: *Тер-Мартиросян А.З., Тер-Мартиросян З.Г., Чинь Туан Вьет, Лузин И.Н.* Осадка и несущая способность длинной сваи // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 52—60.

A.Z. Ter-Martirosyan, Z.G. Ter-Martirosyan, Trinh Tuan Viet, I.N. Luzin

SETTLEMENT AND BEARING CAPACITY OF LONG PILE

When a long pile is interacting with the soil, the combined force applied to the pile head is distributed among the side face and the pile toe inhomogeneously. The toe gets not more than 30 % from the general force, which doesn't let using the reserves of the bearing capacity of relatively firm soil under the fifth pile. Account for the depth of the pile toe and the dead load of the soil allows increasing the bearing capacity of the soil under the pile toe and decrease the pile settlement in general. For the quantitative estimation of these factors it is necessary to solve the task on the interaction of the rigid long pile with the surrounding soil, which includes under the pile toe, which is absolutely rigid round stamp.

The article presents the formulation and analytical solution to a quantification of the settlement of a circular foundation with the due account for its depth, basing on the development of P. Mindlin's studies as well as the interactions between a long rigid pile and surrounding soils, including under pile toe.

It is proposed to compare the estimated value of stresses under the heel of pile with the initial critical load for the round foundation to check the condition that the estinated value is less than the intial critical one.

Key words: soil, foundation, long pile, depth, settlement, bearing capacity, limit equilibrium, initial critical load.

References

1. Nadai A. Theory of Flow and Fracture of Solids. Vol. 1. New York, McGraw-Hill, 1950, 572 p.

2. Florin V.A. *Osnovy mekhanicheskikh gruntov* [Fundamentals of Mechanical Soil]. Vol. 1. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1959, 356 p. (In Russian)

3. Telichenko V.I., Ter-Martirosyan Z.G. Vzaimodeystvie svai bol'shoy dliny s nelineyno deformiruemym massivom grunta [Interaction between Long Piles and the Soil Body Exposed to Non-Linear Deformations]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 4, pp. 22—27. (In Russian)

4. Ter-Martirosyan Z.G., Nguen Zang Nam. Vzaimodeystvie svay bol'shoy dliny s neodnorodnym massivom s uchetom nelineynykh i reologicheskikh svoystv gruntov [Interaction between Long Piles and a Heterogeneous Massif with Account for Non-Linear and Rheological Properties of Soils]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2008, no. 2, pp. 3—14. (In Russian)

5. Ter-Martirosyan Z.G., Trinh Tuan Viet. Vzaimodeystvie odinochnoy dlinoy svai s osnovaniem s uchetom szhimaemosti stvola svai [Interaction between a Single Long Pile and the Bedding with Account for Compressibility of the Pile Shaft]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 8, pp. 104—111. (In Russian)

6. Mattes N.S., Poulos H.G. Settlement of Single Compressible Pile. Journal SoilMech. Foundation ASCE. 1969, vol. 95, no. 1, pp. 189—208.

7. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V. Nachal'noe kriticheskoe davlenie pod podoshvoy kruglogo fundamenta i pod pyatoy buronabivnoy svai kruglogo secheniya [Initial Critical Stresses under the Sole of Round Foundation and under the Circular Bored Pile Toe]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Journal Natural and Technical Sciences]. 2014, no. 11—12 (78), pp. 372—376. (In Russian)

8. Bartolomey A.A., Omel'chak I.M., Yushkov B.S. *Prognoz osadok svaynykh fundamentov* [Forecasting the Settlement of Pile Foundation]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1994, 384 p. (In Russian)

9. Coyle H.M., Reese L.C. Load Transfer for Axially Loaded Piles in Clay. Journal Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE. March1996, vol. 92, no. 2, pp. 1—26.

10. Randolph M.F., Wroth C.P. Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles. Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers. 1978, vol. 104, no. 12, pp. 1465—1488.

11. Van Impe W.F. Deformations of Deep Foundations. Proc. 10th Eur. Conf. SM & Found. Eng., Florence. 1991, vol. 3, pp. 1031—1062.

12. Ter-Martirosyan Z.G. *Mekhanika gruntov* [Soil Mechanics]. Moscow, ASV Publ., 2009, 550 p. (In Russian)

13. Prakash S., Sharma H.D. Pile Foundation in Engineering Practice. John Wiley & Sons, 1990, 768 p.

14. Malyshev M.V., Nikitina N.S. Raschet osadok fundamentov pri nelineynoy zavisimosti mezhdu napryazheniyami i deformatsiyami v gruntakh [Calculation of the Base Settlements in Non-Linear Relation between Stresses and Displacements of Soil]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Bases, Foundations and Soil Mechanics]. 1982, no. 2, pp. 21—25. (In Russian)

15. Joseph E.B. Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill, Inc, 1997, 1240 p.

16. Ter-Martirosyan Z.G., Strunin P.V., Trinh Tuan Viet. Szhimaemost' materiala svai pri opredelenii osadki v svaynom fundamente [The Influence of the Compressibility of Pile Material in Determining the Settlement of Pile Foundation]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012, no. 10, pp. 13—15. (In Russian)

17. Hansen J.B. Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. Bulletin 28. Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, 1970, pp. 5—11.

18. Vijayvergiya V.N. Load-Movement Characteristics of Piles. Proc. Port 77 conference, American Society of Civil Engineers, Long Beach, CA, March 1977, pp. 269—284.

19. Booker J., Poulos H.G. Analysis of Creep Settlement of Pile Foundation. Journal Geotechnical Engineering division. ASCE. 1976, vol. 102, no. 1, pp. 1—14.

20. Poulos H.G., Davis E.H. Pile Foundation Analysis and Design. New York, John Wiley and Sons, 1980, 397 p.

21. Seed H.B., Reese L.C. The Action of Soft Clay along Friction Piles. Trans., ASCE. 1957, vol. 122, no. 1, pp. 731—754.

About the authors: **Ter-Martirosyan Armen Zavenovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Soil Mechanics and Geotechnies, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; mgroif@mail.ru;

Ter-Martirosyan Zaven Grigor'evich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Soil Mechanics and Geotechnies, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; mgroif @mail.ru;

Trinh Tuan Viet — postgraduate student, Department of Soil Mechanics and Geotechnies, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; mgroif@mail.ru; viettt20012007@gmail.com;

Luzin Ivan Nikolaevich — postgraduate student, Department of Soil Mechanics and Geotechnies, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; inluzin@gmail.com.

For citation: Ter-Martirosyan A.Z., Ter-Martirosyan Z.G., Trinh Tuan Viet, Luzin I.N. Osadka i nesushchaya sposobnost' dlinnoy svai [Settlement and Bearing Capacity of Long Pile]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 52—60. (In Russian)

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ. СПЕЦИАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 625.032.3

Ю.Н. Мазов, А.А. Локтев*, В.П. Сычев**

*Московская дирекция инфраструктуры Московской железной дороги, *ФГБОУ ВПО «МГСУ», **ФГБОУ ВПО «МГУПС (МИИТ)»*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Исследованы динамические воздействия, которые испытывает конструкция верхнего строения железнодорожного пути, а через нее и другие элементы конструкции пути. Рассмотрены различные модели динамического контакта, в частности, выделяются: квазистатическая Герца — Беляева; линейно-упругая; упругопластическая Кильчевского, упругопластическая Александрова — Кадомцева. На основе модели контакта колесо — рельс определены наибольшие напряжения, возникающие в рельсе при наличии дефектов колеса (ползун, навар), а также величины критических трещин, в зависимости от размеров дефекта колеса. Результаты исследований могут быть использованы при определении сроков службы рельс и выбраковке колесных пар в вагоноремонтных депо.

Ключевые слова: динамический контакт, дефекты колеса, поверхность катания, контактная сила, жесткость основания, величина критической трещины.

Передача нагрузки от колеса на рельс происходит на очень небольшой сравнительно с размерами колес и рельсов площадке. Материалы этой площадки испытывают очень большое напряжение. Определение контактных напряжений затруднительно, в частности, потому что величина этих напряжений в рельсах под фактически обращающимися колесными нагрузками превышает предел текучести и сжатия современной рельсовой стали. Следует учесть, что металл головки рельса, испытывающий контактные напряжения, особенно при расположении контактной площадки ближе к середине головки рельса, работает в условиях, близких к условиям сжатия, и потому может выдерживать без пластических деформаций более высокие напряжения, чем стандартный сжимаемый образец. Но, как правило, наблюдаемые наклеп металла в зоне контактных напряжений и наплывы металла у краев головки рельса свидетельствуют о наличии пластических деформаций, а, следовательно, о более высоких напряжениях в зоне контакта колесо — рельс, чем предел текучести рельсового металла, даже в условиях его работы в головке рельса.

Пользование расчетными формулами, выведенными на основе теории Герца — Беляева для работы металла в упругой стадии, является допустимым. Объясняется это тем, что каждое отдельное динамическое приложение колесной нагрузки к рельсу является весьма кратковременным, а остаточная пластическая деформация от отдельной нагрузки колесной пары на рельс фактически мала. Данная упругая пластичная деформация рельса становится заметной в результате постепенной наработки пропущенного тоннажа рельсов и колес.

© Мазов Ю.Н., Локтев А.А., Сычев В.П., 2015

Неровности на поверхности катания колес бывают двух видов. Наиболее распространенными являются так называемые непрерывные неровности на колесе, когда из-за неравномерности износа рельса искажается первоначальная форма колеса по всей поверхности катания. Но в современных условиях все чаще встречаются изолированные плавные неровности колесных пар из-за повышенного износа колеса вследствие торможений и блокировки колесной пары подвижного состава — ползуны, навары и т.п.

Движение колеса с неровностями на поверхности катания рельса приводит к вертикальным колебаниям колеса, в результате чего в колесе возникают силы инерции, являющиеся дополнительной нагрузкой на рельс. Схема движения колеса с изолированной неровностью на поверхности катания — ползуном — приведена на рис. 1. В таком случае возникает удар, оказывающий дополнительное воздействие на рельс. Такие удары могут вызывать даже изломы рельсов, особенно в зимние месяцы, когда возрастает хрупкость рельсовой стали вследствие пониженных температур. Это явление — относительно редкое, возникает при малой численности изолированных неровностей на колесе подвижного состава.

При обнаружении ползуна на поверхности катания колеса определяется его глубина. Порядок вывода вагона с ползуном с перегона установлен Техническими условиями [1]. Формы площадки соприкосновения и контактных напряжений, которые могут быть представлены в виде распределенной нагрузки, приложенной по контактной поверхности, зависят от формы соприкасающихся тел.

Поверхности катания новых рельсов и только что обточенных колес имеют конические формы. Учитывая небольшую степень конических поверхностей (1/20), при расчете контактных напряжений поверхностей катания рельса и колеса принимают за цилиндрическую. Так как поверхность катания нового рельса цилиндрическая, то контакт колеса с рельсом можно рассматривать как контакт цилиндра с цилиндром — один поперек другого.

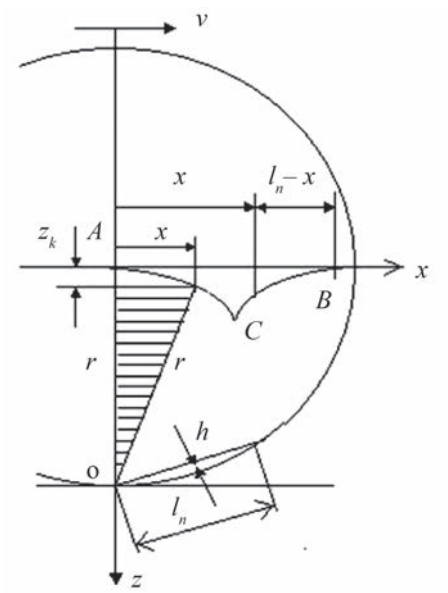


Рис. 1. Схема движения колеса с изолированной неровностью — ползуном: l_n, h_n — длина и глубина ползуна; r — радиус круга катания; z_k — ордината траектории колесной пары; $l_{пз}$ — длина закатанного ползуна; x — координата вдоль оси пути; x ABC — траектория колесной пары

В этом случае площадь контакта рельса с колесом имеет форму эллипса, как показано на рис. 2. Таким образом, нормальное напряжение на поверхностях катания рельса и колеса зависит от нагрузки колеса на рельс, радиусов поверхностей катания колеса и рельса, свойств взаимодействующих материалов.

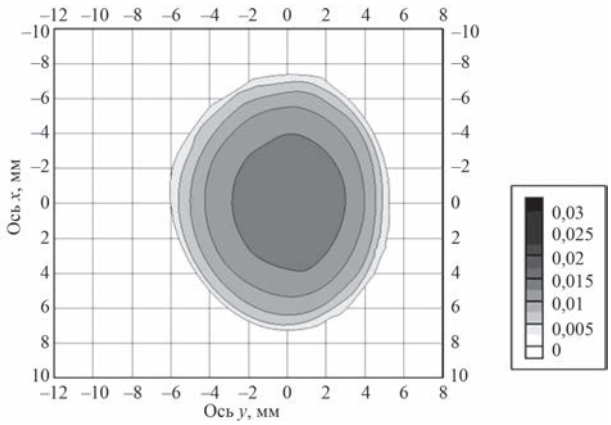


Рис. 2. Площадь контакта рельса с колесом

В качестве соотношений, связывающих контактную силу и местные деформации при взаимодействии колесо — рельс, используем квазистатическую модель Герца, линейно-упругую модель и две упругопластические модели контакта — Александрова — Кадомцева и Кильчевского:

$$P = k\alpha^{3/2}, \quad P = E'(\alpha - w), \tag{1}$$

$$\alpha = \begin{cases} bP^{2/3}, & dP/dt > 0,\ P_{\max} < P_1; \\ (1+\beta)c_1 + (1-\beta)Pd, & dP/dt > 0,\ P_{\max} > P_1; \\ b_f P^{2/3} + \alpha_p(P_{\max}), & dP/dt < 0,\ P_{\max} > P_1; \end{cases}$$

$$\alpha = \begin{cases} bP^{2/3}, & dP/dt > 0,\ P < P_b; \\ bP^{2/3} + Pd, & dP/dt > 0,\ P > P_b; \\ bP^{2/3} + P_{\max}d, & dP/dt < 0,\ P_{\max} > P_b, \end{cases} \tag{2}$$

где k — коэффициент, зависящий от геометрии контактирующих тел и упругих характеристик их материалов; α — местное смятие материалов рельса и колеса; E' — жесткость области контакта, обладающей упругими свойствами; w — перемещение нижней грани рельса; $\lambda = 5{,}7$; $b = \left(\left(9\pi^2(k_1+k)^2\right)/16R\right)^{1/3}$; $k_1 = \left(1-\sigma_1^2\right)/E_1$; $k = \left(1-\sigma^2\right)/E$; $\chi = \pi k_{pl}\lambda$; $P_1 = \chi^3\left(3R(k_1+k)/4\right)^2$; $d = 1/2\chi R$; $b_f = R_f^{-1/3}\left(3(k_1+k)/4\right)^{2/3}$; $R_p^{-1} = R^{-1} - R_f^{-1}$; $R_f = \left(4/3(k_1+k)\right)P_{\max}^{1/2}\chi^{-3/2}$; $\alpha_p(P_{\max}) = (1-\beta)P_{\max}\left(2\chi R_p\right)^{-1}$; $\beta = 0{,}33$, $c_1 = 3\chi^{1/2}(k_1+k)/8$; k_{pl} — наименьшая из пластических констант, взаимодействующих тел; σ_1, E_1 — коэффициент Пуассона и модуль упругости для ударника [2, 3].

Для моделирования динамического воздействия колеса и рельса при скоростях до 90 км/ч согласно результатам [4] для инженерных расчетов вполне подходят соотношения контактной теории Герца (1). Поскольку в данном случае контактирующие поверхности однородны и изотропны, силы трения в зоне контакта не учитываются, размер контактной площадки мал по сравнению с размерами контактирующих тел и характерными радиусами кривизны недеформированных поверхностей, контактирующие поверхности гладкие.

При движении поезда положение колесной пары по отношению к рельсам существенно меняется, приводя к возникновению различных сочетаний контактных зон колеса и рельса. Даже при условии постоянной осевой нагрузки нормальные напряжения будут существенно меняться из-за различия в радиусах кривизны контактирующих поверхностей этих зон.

Если в области контакта имеется один радиус кривизны поверхности, можно использовать решение Герца. Если в области контакта имеются два или несколько радиусов кривизны, например r_{11} и r_{12} (рис. 3), решение Герца несправедливо и для определения площадки контакта следует использовать решения (2), (3). Это особенно важно при разнообразных сочетаниях изношенных профилей колеса и рельса.

При нахождении нормальных контактных напряжений для не конформного контакта используются различные методы, например, с использованием метода аппроксимации нелинейной геометрии эллипсами. Другой подход, используемый для нахождения контактных напряжений между колесом с дефектами и рельсом, состоит в моделировании контактирующих тел с использованием упругого винклеровского основания, при котором деформация поверхностей пропорциональна нормальным контактным напряжениям.

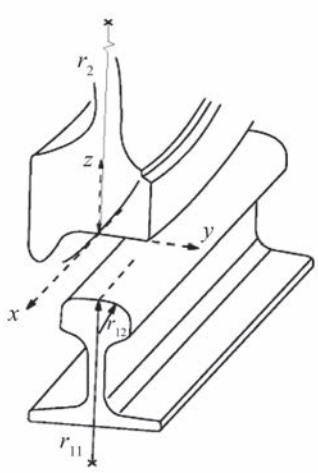


Рис. 3. Геометрия контакта колесо — рельс

Полученное при этом максимальное контактное напряжение будет в 1,3 больше, чем при герцевском решении [5]. Размер площадки контакта и нормальной геометрии контакта колеса с рельсом зависят от нормальной нагрузки, действующей от колеса на рельс, профилей колеса и рельса, поперечного и углового положения колесной пары на рельсах и подуклонки рельсов. В соответствии с формой площадки контакта и характером деформации интенсивность давления в пределах контактной поверхности распределена по закону полуэллипсоида.

В [5] с применением теории упругости для случая, когда оба цилиндра из однородного материала (углеродистая сталь), уравнение наибольшего напряжения по площадке соприкосновения рельса с колесом примет вид

$$Q_{max} = (3/2)(P/ab\pi), \quad (3)$$

где P — нагрузка при касании, кг; a и b — полуоси эллипса касания, см; $(2/3)\pi abQ_{max}$ — объем полуэллипсоида напряжений, который равен силе P, кг, по закону равенства силы и вызываемой ею реакции.

Величина полуосей эллипса контактной площадки, в данном случае двух цилиндров, рассчитывается

$$A = (1/2R_2) \text{ и } B = (1/2R_1), \quad (4)$$

где R_1 и R_2 — радиусы кривизны поверхностей колеса и рельса ($R_2 > R_1$). Следовательно: $A/B = 2R_1/2R_2 = R_1/R_2$.

Таким образом, меньший радиус обозначаем через R_1 — кривизну поверхности головки рельса, а больший — радиус колеса — R_2 и получаем, что наибольшее напряжение соприкосновения рельса с колесом равно

$$Q_{\max} = \alpha \sqrt[3]{P E^2} / R^2, \quad (5)$$

где α — коэффициент, зависящий от соотношения R_1/R_2, примем 0,586; P — наибольшая динамическая вертикальная сила нажатия колеса на рельс, кг; E — модуль упругости рельсовой стали, равный $2{,}1 \cdot 10^6$ кг/см^2.

На основе экспериментального исследования определялась связь возникновения внутренних продольных трещин по коду 30Г.1-2 [6] в рельсе в зависимости от скоростей движения и содержания подвижного состава.

Рассмотрим 3 участка пути Московской дирекции инфраструктуры направления Москва — Брянск: перегон Малоярославец — Ерденево, 1, 2 пути, 124—131 км; Ерденево — Суходрев, 1, 2 пути, 132—145 км; Воротынск — Бабынино, 2 путь, 203—221 км; Березовский — Козелкино, 2 путь, 342—360 км; Судимир — Березовский, 2 путь. Следующие характеристики на этих участках одинаковы: скорость движения поездов — 140 пасс./90 груз. км/ч; пропущенный тоннаж рельсов — 600…800 млн т брутто; вертикальный износ рельсов — 4…8 мм; боковой износ рельсов прямых участков — 4…7 мм; боковой износ рельсов кривых участков — 8…16 мм; род тока до 260 км — постоянный, с 261 км — переменный; нагрузки на ось пассажирских вагонов — 10…20 т; нагрузки на ось грузовых вагонов — 15…25 т; нагрузки на ось эксплуатируемых локомотивов (ЭП-1, ЭП-2, ЧС-7, ЧС-4, ВЛ-10, ВЛ-11, ВЛ-80, М62У) — от 15 до 25 т; класс пути — 1; шпалы железобетонные; рельсы — Р-65; год выпуска рельсов 1991—1994 гг.; завод-изготовитель рельсов Нижнетагильский металлургический комбинат; тип скрепления КБ-65; щебень фракции 20…40 мм; план реконструкции к 2015 г. — повышение скорости движения поездов до 160 пасс./110 груз. км/ч.

Анализ рельсов с износом показал, что у середины головки рельса радиус становится равным 320 мм, а на расстоянии 20 мм от продольной оси рельса в обе стороны — 100…200 мм, что подтверждается ранее проведенными исследованиями [7—10].

На эксплуатационную стойкость рельса влияет ползун колеса (см. выше), при этом из-за погрешности подуклонки рельсов и износа головки рельса, пятно контакта смещается к краю головки рельса. В этих случаях в [8—14] предлагается следующая формула для определения наибольшей силы удара колеса с ползуном по рельсу:

$$P = V_{\text{уд}} \sqrt{m_{\text{пр}} \text{Ж}_{\text{кт}}}, \quad (6)$$

где $V_{\text{уд}}$ — скорость ударяющей точки колеса, см/с (см. рис. 1); $m_{\text{пр}}$ — приведенная масса пути, кг·с^2/см; $\text{Ж}_{\text{кт}}$ — жесткость контакта колеса с рельсом $0{,}5 \cdot 10^6$ кг/см. Приведенная масса пути рассчитывается по формуле [8]

$$m_{\text{пр}} = (1{,}5…2{,}3) m_{\text{р}} / k, \quad (7)$$

где $m_{\text{р}}$ — погонная масса рельса 0,65 кг/см; k — коэффициент относительной жесткости рельсового основания на щебеночном балласте и рельса типа Р-65

примем равным 0,01 $см^{-1} \cdot 981$, так как эпюра шпал 1840…2000 шт. на 1 км, а износ рельсов от 3 до 6 мм:

$$V_{уд} = VL_0/R_к, \quad (8)$$

где V — скорость движения, см/с; L_0 — длина ползуна, см; $R_к$ — радиус колеса, см.

Рассчитаем скорость ударяющей точки колеса и наибольшую силу удара для колеса с ползуном 0,7 мм и диаметром колесной пары 950 мм, на скорости движения 15 км/ч (417 см/с): $m_{пр} = 2{,}3 \cdot 0{,}65/0{,}01 \cdot 981 = 0{,}15$ кг·$с^2$/см, $V_{уд} = 417(5/47{,}5) = 44$ см/с. Отсюда наибольшая сила удара колеса и напряжение колеса с ползуном 0,7 мм при скорости движения вагона 15 км/ч (по формулам (7) и (8)) составит: $P = 44\sqrt{0{,}15 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6} = 12050$ кг, $Q_{max} = 0{,}586^3\sqrt{12050 \cdot \left(2{,}1 \cdot 10^6\right)^2 / 47{,}5^2} = 16800$ кг/$см^2$.

Сила удара и напряжения колеса на рельс для различных величин ползунов колес и скоростей движения поездов [15—17] приведены на рис. 4.

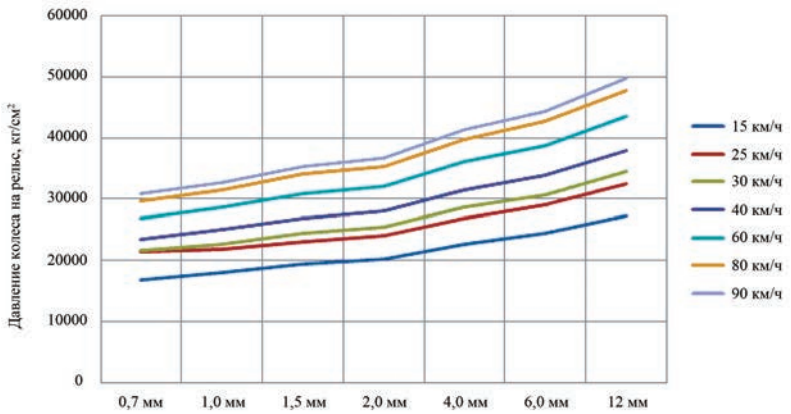


Рис. 4. Давление колеса на рельс в зависимости от скорости

Если принять рельс за балку бесконечной длины, нагруженной в полном своем сечении, где ось абсцисс x с сосредоточенной силой P, показанной на рис. 5, в этом случае реакция основания в каждой точке, при соблюдении условий полного контакта между подошвой рельса и основанием, принимается пропорционально прогибу:

$$r(x) = -ky(x), \quad (9)$$

где $r(x)$ — реакция основания, Н/м; $y(x)$ — просадка основания; $k = k_1 b$; b — ширина подошвы рельса (балки); k_1 — коэффициент, характеризующий жесткость основания, Па/м. Этот коэффициент представляет собой реакцию основания, приходящийся на 1 $м^2$ площади при просадке, равной единице.

Изгиб упругой балки записывается как

$$EJ_z y^4(x) + ky(x) = q(x), \quad (10)$$

где $q(x)$ — приложенная к балке, заданная распределенная нагрузка; k — коэффициент, определяемый по формуле $k = E_0/1 - \mu^2$; E_0 — модуль деформации грунта основания; μ — коэффициент Пуассона.

В случае балки постоянного сечения интегрирование уравнения (10) не представляет особых затруднений, вводится обозначение $k/EJ_z = 4\beta^4$, а β — называется коэффициентом относительной жесткости основания, 1/м; $EJ_z = 7{,}45 \cdot 10^6$ Н/м^2 — заданная жесткость рельса Р-65; E — модуль упругости рельсовой стали, равный $2{,}1 \cdot 10^6$ кг/см^2; $J_z = 3{,}548 \cdot 10^{-5}$ м^4 — момент инерции рельса Р-65.

Дифференциальное уравнение изогнутого рельса записывается

$$EJ_z y^4(x) + 4ky(x) = \delta(x)P. \quad (11)$$

Прогиб рельса на упругом основании под действием силы P

$$y(x) = P/8\beta EJ_z. \quad (12)$$

Из уравнения (11) можно последовательно определить выражение изгибающего момента рельса и действующей поперечной силы на рельс. Наибольший изгибающий момент от силы P при заданной жесткости балки EJ_z в большей степени зависит от жесткости основания k.

На рельс по всей длине подвижного состава будет действовать приложенная система сосредоточенных сил P_1, P_2, …, P_n. Общая нагрузка для каждого изгибающего момента и поперечной силы будет определяться по принципу суперпозиций, но максимальная сила для расчета рельса на прочность будет соответствовать тому колесу подвижного состава, от которого будет передаваться наибольшая нагрузка на рельс, т.е. колесу с дефектом (ползун, навар) [16—21].

Если исследуемые участки, на которых эксплуатируются вагоны, со стандартной нагрузкой 20…25 т на ось, значением коэффициента постели для щебеночного балласта $k_1 = 75$ МПа, шириной подошвы рельса 0,18 м, то коэффициент относительной жесткости составит: $\beta = \sqrt[4]{k/4EJ_z} = \sqrt[4]{13{,}5 \cdot 10^6/4 \cdot 7{,}45 \cdot 10^6} = 0{,}82.$

Зная коэффициент относительной жесткости, рассчитываем максимальное напряжение в рельсе от проходящего подвижного состава с дефектом колес (ползун). Результаты вычислений представим на рис. 5.

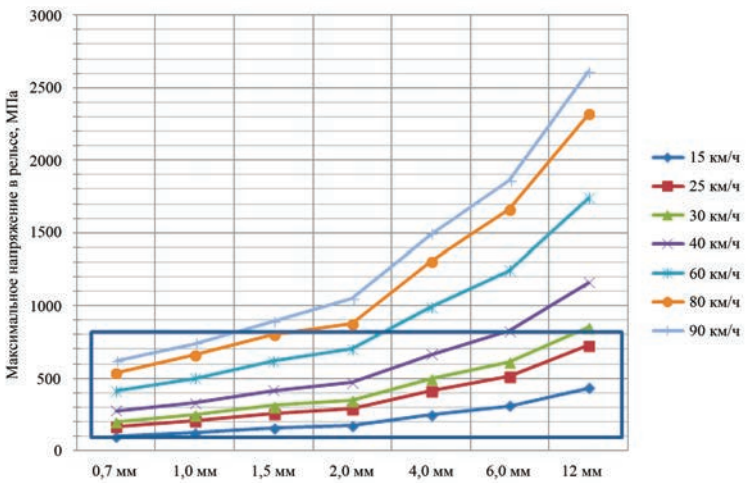


Рис. 5. Зависимость прочности рельса от скорости движения поезда с дефектом колеса (ползун)

По расчетам наибольшие растягивающие напряжения в головке рельса образуются на расстоянии 100…200 см от точки приложения силы.

Предположим, что дефектное колесо имеет одну критически опасную неровность, тогда в процессе движения она может иметь только один контакт на длине πD (D — диаметр колеса) с поверхностью катания рельса. Наличие трещины критической величины в головке рельса по коду 30Г или 21 примем как неизбежность присутствующего факта. В табл. 1 величина критической трещины принята при глубине ползуна 2 мм и нагрузке на ось 270 кН, скорости движения 60 км/ч. Выбраковка колес в вагоноремонтном депо с ползунами 1,5…2 мм составляет 80 % от всех дефектов колес, в расчетной части величину ползуна примем 1…2 мм.

Величина критической трещины

Показатели	Значение показателей для рельсов Р-65 при нагрузке на ось 270 кН								
Скорость, км/ч	80					60			
Глубина ползуна, мм	0,7…1					2			
Температура, ºС	+20	–20	–30	–40	–50	+20	–20	–30	–40
Критическая площадь трещины термически упрочненного рельса, %	80	40	33	26	21	29	22	20	15
Критическая площадь трещины не термически упрочненного рельса, %	60	25	20	16	15	25	13	10	5
Напряженность в рельсе от колеса с дефектом, (кН)/(МПа)	(650…780) / (540…660)					(827) / (700)			

Таким образом, предлагаемая в работе методика позволяет оценить влияние нескольких видов дефектов колеса на состояние рельса и перспективы его использования в верхнем строении железнодорожного пути на участках с различной скоростью движения и грузонапряженностью. Также полученные результаты могут быть использованы для решения обратной к рассмотренной задачи. Например, при проектировании высокоскоростных магистралей, когда задаются скорость движения транспортного средства и нагрузка на ось, а результатом решения являются параметры дефектов как колесных пар, так и рельс, при которых соблюдаются повышенные требования по безопасной эксплуатации железных дорог.

Библиографический список

1. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути. Утв. расп. ОАО «РЖД» от 18.01.2013 г. № 75р. М., 2013. 225 с.

2. *Loktev A.A.* Dynamic contact of a spherical indenter and a prestressed orthotropic Uflyand-Mindlin plate // Acta Mech. 2011. Vol. 222 (1—2). Pp. 17—25.

3. *Loktev A.A.* Non-elastic models of interaction of an impactor and an Uflyand-Mindlin Plate // International Journal of Engineering Science. 2012. Vol. 50. No. 1. Pp. 46—55.

4. *Loktev A.A., Sycheva A.V., Vershinin V.V.* Modeling of Work of a Railway Track at the Dynamic Effects of a Wheel Pair // Proceeding of the 2014 International Conference on Theoretical Mechanics and Applied Mechanics, Venice, Italy, March 15—17, 2014. Pp. 16—19.

5. *Саргсян А.Е., Дворянчиков Н.В., Джинчвелашвили Г.А.* Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов / под ред. А.Е. Саргсяна. М. : Изд-во АСВ, 1998. 424 с.

6. Классификация дефектов рельсов НТД/ЦП-1-93. Каталог дефектов рельсов НТД/ЦП-2-93. Признаки дефектных и остродефектных рельсов НТД/ЦП-3-93 : нормативно-техническая документация. М. : Транспорт, 1993.

7. *Абдурашитов А.Ю., Георгиев М.Н., Крысанов Л.Г.* Надежность работы рельсов в различных климатических условиях. М. : ВНИИЖТ, 1987. 138 с.

8. *Коган А.Я., Верхотин А.А.* Расчет воздействия на путь колесной пары с ползуном // Исследования возможностей повышения скоростей движения поездов : сб. науч. тр. М. : Транспорт, 1984. 224 с.

9. *Крысанов Л.Г., Абдурашитов А.Ю.* Свойства рельсов с контактно-усталостными повреждениями // Путь и путевое хозяйство. 1998. № 8. С. 2—4.

10. *Сычев В.П., Черкашин Ю.М.* О стохастических методах решения задач устойчивости и безопасности функционирования систем железнодорожного транспорта // Качественные свойства, асимптотика и стабилизация нелинейных динамических систем : межвуз. сб. науч. тр. : посвящается 90-летию со дня рождения профессора А.А. Шестакова. Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2010. С. 125—131.

11. *Абдурашитов А.Ю., Кузнецов С.В.* О выборе оптимальных профилей в системе «колесо — рельс» // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство : сб. тр. 7-й науч.-практ. конф. МГУПС. М. : АИСнТ, 2014. С. 158—162.

12. *Agostinacchio M., Ciampa D., Diomedi M., Olita S.* Parametrical analysis of the railways dynamic response at high speed moving loads // Journal of Modern Transportation. 2013. Vol. 21. No. 3. Pp. 169—181.

13. *Olsson R., Donadon M.V., Falzon B.G.* Delamination threshold load for dynamic impact on plates // International Journal of Solids and Structures. 2006. Vol. 43. No. 10. Pp. 3124—3141.

14. *Abrate S.* Modelling of impact on composite structures // Compos Struct. 2001. Vol. 51. Pp. 129—138.

15. *Abrate S.* Impact on laminated composite materials // Applied Mechanics Reviews. 1991. Vol. 44. No. 4. Pp. 155—190.

16. *Chen P., Xiong J., Shen Z.* Thickness effect on the contact behavior of a composite laminate indented by a rigid sphere // Mechanics of Materials. 2008. Vol. 40. Pp. 183—194.

17. *Christoforou A.P., Elsharkawy A.A., Guedouar L.H.* An inverse solution for low-velocity impact in composite plates // Computers and Structures. 2001. Vol. 79. No. 29—30. Pp. 2607—2619.

18. *Kukudzjanov V.N.* Investigation of shock wave structure in elasto-visco-plastic bar using the asymptotic method // Archive of Mechanics. 1981. Vol. 33. No. 5. Pp. 739—751.

19. *Evans G.R., Jones B.C., McMillan A.J., Darby M.I.* A new numerical method for the calculation of impact forces // Journal of Physics D: Applied Physics. 1991. Vol. 24. No. 6. Pp. 854—858.

20. *Fisher H.D.* The impact of an elastic sphere on a thin elastic plate supported by a Winkler foundation // Transactions of the ASME. Journal of Applied Mechanics. 1975. Vol. 42. No. 1. Pp. 133—135.

21. *Jaeger J.* Analytical solutions of contact impact problems // Applied Mechanics Reviews. 1994. Vol. 47. No. 2. Pp. 35—44.

Поступила в редакцию в марте 2015 г.

Об авторах: **Мазов Юрий Николаевич** — начальник вагона-дефектоскопа, **Московская дирекция инфраструктуры Московской железной дороги**, 107996, г. Москва, ул. Краснопрудная, д. 20, yreq.84@mail.ru;

Локтев Алексей Алексеевич — доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теоретической механики и аэродинамики, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 183-24-01, prtlokt@yandex.ru;

Сычев Вячеслав Петрович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства железных дорог, мостов и транспортных тоннелей, **Московский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВПО «МГУПС (МИИТ)»)**, 125993, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2, 8 (495) 799-95-78, vp@vpm770.ru.

Для цитирования: *Мазов Ю.Н., Локтев А.А., Сычев В.П.* Оценка влияния дефектов колес подвижного состава на состояние железнодорожного пути // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 61—72.

Yu.N. Mazov, A.A. Loktev, V.P. Sychev

ASSESSING THE INFLUENCE OF WHEEL DEFECTS OF A ROLLING STOCK ON RAILWAY TRACKS

Transfer of the load from the wheels on the rail occurs at a very small area compared with the size of the wheels and rails. The materials near this site have a very large voltage. Determination of contact stresses is complicated by the fact that the magnitude of these stresses in the rails under actually revolving wheel load exceeds the yield and compressive strength of modern rail steel. We should note that the metal of the rail head, experiencing contact stresses, especially when the location of the pads is closer to the middle of the rail head, works in the conditions close to the compression conditions, and therefore can withstand higher voltage without plastic deformation than the standard compressible sample. But, as a rule, the observed hardening of the metal in the zone of contact stresses and lapping at the edges of the rail head indicates the presence of plastic deformation and, consequently, higher stresses in the wheel-rail contact zone than the yield strength of the metal rail even in the conditions of its operation in the rail head.

The use of the design equations derived on the basis of the Hertz theory for metal behavior in elastic stage, is valid. The reason is that each individual dynamic application of wheel loads on the rail is very short, and the residual plastic deformation from the individual loads of the pair of wheels on the rail is actually small. This elastic-plastic deformation of the rail becomes visible as a result of gradual gaining of a missed tonnage of rails and wheels respectively. Irregularities on the running surface of the wheels are of two types. The most common are the so-called continuous bumps on the wheel, when due to the uneven wear of rail the original shape of the wheel across the tread surface distorts. But nowadays, more and more often there occur isolated smooth irregularities of the wheel pairs, due to the increased wear of the wheel because of the stopping and blocking of wheels of the vehicles — slides (potholes), etc.

The motion of the wheels with irregularities on the surface of the rail leads to vertical oscillation of the wheel, resulting in the forces of inertia, which is an additional load on the rail. In case of movement of the wheel with isolated roughness on the tread surface of the slide there is a strike, having a very large additional impact on the rail. Such attacks can cause kinked rails, especially in the winter months when there is increased fragility of rail steel, because of lowered temperatures. This is an abnormal phenomenon and occurs relatively rarely, at a small number of isolated irregularities on a wheel of the rolling stock. As correlations connecting the contact force and local deformation in the interaction of the wheel-rail system, we use the quasi-static Hertz's model, linear-elastic model and two elastoplastic contact models: Alexandrov-Kadomtsev and Kil'chevsky.

According to the results of Loktev's studies ratios of the contact Hertz's theory are quite suitable for modeling the dynamic effects of wheel and rail for speeds up to 90 km/h for engineering calculations. Since the contact surface is homogeneous and isotropic, the friction forces in the contact zone are not taken into account, the size of the pad is small compared to the dimensions of the contacting bodies and characteristic radii of curvature of the undeformed surfaces, the contacting surfaces are smooth.

When train is driving, the position of the wheelset in relation to the rails varies considerably, giving rise to different combinations of the contact areas of the wheel and rail. Even assuming constant axial load the normal voltage will vary considerably because of the differences in the radii of curvature of the contacting surfaces of these zones. Thus, the proposed method allows evaluating the influence of several types of wheel defects on the condition of the rail and the prospects of its use in the upper structure of a railway track on plots with different speed and traffic volumes. Also the results can be used to solve the inverse of the considered problems, for example, when designing high-speed highways, when setting the vehicle speed and axle load, and the solution results are the parameters of the defects, both wheelsets and the rails, in case of which higher requirements for the safe operation of railways are observed.

Key words: dynamic contact, wheel defects, tread, contact force, rigidity of the base, critical crack value.

References

1. *Tehnicheskie usloviya na raboty po rekonstruktsii (modernizatsii) i remontu zheleznodorozhnogo puti. Utverzhdennoe rasporyazhenie OAO "RZhD" ot 18.01.2013. № 75r* [Technical Specifications for the Reconstruction (Modernization) and Repair of Railroad Tracks. The disposal of JSC "RZD" from 18.01.2013 no. 75r]. Moscow, 2013, 225 p. (In Russian)

2. Loktev A.A. Dynamic Contact of a Spherical Indenter and a Prestressed Orthotropic Uflyand-Mindlin Plate. Acta Mech. 2011, vol. 222 (1—2), pp. 17—25. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s00707-011-0517-8.

3. Loktev A.A. Non-Elastic Models of Interaction of an Impactor and an Uflyand-Mindlin Plate. International Journal of Engineering Science. 2012, vol. 50, no. 1, pp. 46—55. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijengsci.2011.09.004.

4. Loktev A.A., Sycheva A.V., Vershinin V.V. Modeling of Work of a Railway Track at the Dynamic Effects of a Wheel Pair. Proceeding of the 2014 International Conference on Theoretical Mechanics and Applied Mechanics, Venice, Italy, March 15—17, 2014. Pp. 16—19.

5. Sargsyan A.E., Dvoryanchikov N.V., Dzhinchvelashvili G.A. *Stroitel'naya mekhanika. Osnovy teorii s primerami raschetov* [Structural Mechanics. Fundamentals of the Theory with Examples of Calculations]. Moscow, ASV Publ., 1998, 424 p. (In Russian)

6. *Klassifikatsiya defektov rel'sov NTD/TsP-1-93. Katalog defektov rel'sov NTD/TsP-2-93. Priznaki defektnykh i ostrodefektnykh rel'sov NTD/TsP-3-93 : normativno-tekhnicheskaya dokumentatsiya* [Classification of Rail Defects NTD/TsP-1-93. Catalogue of Rail Defects NTD/TsP-2-93. Signs of Defective and Fatal Cropped Rails NTD/TsP-3-93 : Normative and Technical Documentation]. Moscow, Transport Publ., 1993. (In Russian)

7. Abdurashitov A.Yu., Georgiev M.N., Krysanov L.G. *Nadezhnost' raboty rel'sov v razlichnikh klimaticheskikh usloviyakh* [Reliability of Rails in Various Climatic Conditions]. Moscow, VNIIZhT Publ., 1987, 138 p. (In Russian)

8. Kogan A.Ya., Verkhotin A.A. *Raschet vozdeystviya na put' kolesnoy pary s polzunom* [Calculation of the Impact on the Path of a Wheelset with a Slider]. Issledovaniya vozmozhnostey povysheniya skorostey dvizheniya poezdov : sbornik nauchnykh trudov [Investigating the Possibilities of Increasing the Velocities of Train Performance : Collection of Scientific Works]. Moscow, Transport Publ., 1984, 224 p. (In Russian)

9. Kryasanov L.G., Abdurashitov A.Yu. Svoystva rel'sov s kontaktno-ustalostnymi povrezhdeniyami [Properties of Rails with Contact Fatigue Damages]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Railway and Track Facilities]. 1998, no. 8, pp. 2—4. (In Russian)

10. Sychev V.P., Cherkashin Yu.M. O stokhasticheskikh metodakh resheniya zadach ustoychivosti i bezopasnosti funktsionirovaniya sistem zheleznodorozhnogo transporta [Stochastic Methods for Solving the Stability and Security Problems of Railway Transport Systems Functioning]. *Kachestvennye svoystva, asimptotika i stabilizatsiya nelineynykh dinami-*

cheskikh sistem : mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov : posvyashchaetsya 90-letiyu so dnya rozhdeniya professora A.A. Shestakova [Qualitative Properties, Asymptotics and Stabilization of Nonlinear Dynamic Systems : Interuniversity Collection of Scientific Works : Dedicated to the 90th Anniversary of Professor A.A. Shestakov]. Saransk, Mordova State University Publ., 2010, pp. 125—131. (In Russian)

11. Abdurashitov A.Yu., Kuznetsov S.V. O vybore optimal'nykh profiley v sisteme «koleso — rel's» [On Choosing the Best Profiles in the "Wheel-Rail" System]. *Vnedrenie sovremennykh konstruktsiy i peredovykh tekhnologiy v putevoe khozyaystvo : sbornik trudov 7-y nauchno-prakticheskoy konferentsii MGUPS* [Implementation of Modern Constructions and Advanced Technologies in Track Facilities : Collection of the Works of the 7th Science and Practice Conference of Moscow State University of Railway Engineering]. Moscow, AISnT Publ., 2014, pp. 158—162. (In Russian)

12. Agostinacchio M., Ciampa D., Diomedi M., Olita S. Parametrical Analysis of the Railways Dynamic Response at High Speed Moving Loads. Journal of Modern Transportation. 2013, vol. 21, no. 3, pp. 169—181.

13. Olsson R., Donadon M.V., Falzon B.G. Delamination Threshold Load for Dynamic Impact on Plates. International Journal of Solids and Structures. 2006, vol. 43, no. 10, pp. 3124—3141. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2005.05.005.

14. Abrate S. Modelling of Impact on Composite Structures. Compos Struct. 2001, vol. 51, pp. 129—138.

15. Abrate S. Impact on Laminated Composite Materials. Applied Mechanics Reviews. 1991, vol. 44, no. 4, pp. 155—190. DOI: http://dx.doi.org/10.1115/1.3119500.

16. Chen P., Xiong J., Shen Z. Thickness Effect on the Contact Behavior of a Composite Laminate Indented by a Rigid Sphere. Mechanics of Materials. 2008, vol. 40, pp. 183—194.

17. Christoforou A.P., Elsharkawy A.A., Guedouar L.H. An Inverse Solution for Low-Velocity Impact in Composite Plates. Computers and Structures. 2001, vol. 79, no. 29—30, pp. 2607—2619.

18. Kukudzjanov V.N. Investigation of Shock Wave Structure in Elasto-Visco-Plastic Bar Using the Asymptotic Method. Archive of Mechanics. 1981, vol. 33, no. 5, pp. 739—751.

19. Evans G.R., Jones B.C., McMillan A.J., Darby M.I. A New Numerical Method for the Calculation of Impact Forces. Journal of Physics D: Applied Physics. 1991, vol. 24, no. 6, pp. 854—858. DOI: http://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/24/6/009.

20. Fisher H.D. The Impact of an Elastic Sphere on a Thin Elastic Plate Supported by a Winkler Foundation. Transactions of the ASME. Journal of Applied Mechanics. 1975, vol. 42, no. 1, pp.133—135. DOI: http://dx.doi.org/10.1115/1.3423503.

21. Jaeger J. Analytical Solutions of Contact Impact Problems. Applied Mechanics Reviews. 1994, vol. 47, no.2, pp. 35—44.

About the authors: **Mazov Yuriy Nikolaevich** — head, flaw detector car, **Moscow Directorate of the infrastructure of Moscow Railway**, 20 Krasnoprudnaya str., Moscow, 107996, Russian Federation; yreq.84@mail.ru;

Loktev Aleksey Alekseevich — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Theoretical Mechanics and Aerodynamics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (499) 183-24-01; prtlokt@yandex.ru;

Sychev Vyacheslav Petrovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, chair, Department of Railways, Bridges and Transport Tunnels Construction, **Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)**, 22/2 Chasovaya str., Moscow, 125993, Russian Federation; +7 (495) 799-95-78; vp@vpm770.ru.

For citation: Mazov Yu.N., Loktev A.A., Sychev V.P. Otsenka vliyaniya defektov koles podvizhnogo sostava na sostoyanie zheleznodorozhnogo puti [Assessing the Influence of Wheel Defects of a Rolling Stock on Railway Tracks]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 61—72. (In Russian)

ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627:699.8

С.Н. Левачев, Т.С. Федорова*
*ФГБОУ ВПО «МГСУ», *ФГУП «Канал имени Москвы»*

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛА ИМЕНИ МОСКВЫ

Дана ретроспектива развития системы мониторинга гидротехнических сооружений (ГТС) канала имени Москвы с момента его строительства до настоящего времени. Проведен анализ наблюдений за состоянием стен камер шлюзов канала, в т.ч. шлюза № 2, на котором впервые были обнаружены деструктивные процессы в работе стен и были применены различные методы ликвидации их развития. На основании анализа наблюдений обозначены основные проблемы в сфере мониторинга ГТС канала.

Ключевые слова: канал имени Москвы, мониторинг безопасности, шлюз, наблюдения, перемещения.

Основу предприятия ФГУП «Канал имени Москвы» в его современном виде составляет Канал Москва — Волга, построенный в 1937 г. Строительство канала продолжалось всего 4 года и 8 месяцев. На искусственной трассе, протяженностью 128 км было построено более 200 различных гидротехнических сооружений (ГТС), в т.ч. 11 шлюзов, 5 насосных станций, 8 гидроэлектростанций, 11 бетонных и земляных плотин, создано 8 водохранилищ.

В период с 1945 по 1950 гг. в состав предприятия вошли Вышневолоцкий техучасток, шлюзы Угличского и Рыбинского гидроузлов.

Передача предприятию водных путей и гидросооружений на р. Оке в 1958 г. завершила формирование зоны деятельности ФГУП «Канал имени Москвы» в его современном виде.

Сегодня ФГУП «Канал имени Москвы» является крупнейшим воднотранспортным и водохозяйственным комплексом, включает 10 филиалов и решает целый комплекс задач:

содержание внутренних водных путей и судоходных ГТС;

обеспечение безопасности судоходства;

водоснабжение г. Москвы;

санитарное обводнение р. Москвы и ее притоков;

выработка электроэнергии;

электроснабжение абонентов и услуги по передаче электроэнергии для территориальных сетевых организаций;

обеспечение развития рекреации и всех видов отдыха на воде.

Одной из основных задач предприятия является эксплуатация ГТС — в данном сегменте канал является лидером отрасли. В состав предприятия входят 248 ГТС, 104 из которых являются напорными.

© Левачев С.Н., Федорова Т.С., 2015

Немаловажной составляющей эксплуатации ГТС является наблюдение за ними или мониторинг безопасности ГТС, дающий своевременную и обоснованную картину их «жизнедеятельности», позволяющий прогнозировать и предупреждать возникновение аварийных ситуаций.

Система мониторинга канала включает три функциональных уровня.

Первый уровень — гидроузел — включает проведение на постоянной основе визуальных и инструментальных наблюдений, выполняемых специалистами гидроузла. Задача данного уровня: постоянный сбор простой информации о техническом состоянии сооружения и передача ее на следующий уровень.

Второй уровень — район гидросооружений (РГС) — предусматривает выполнение более сложных наблюдений, анализ полученных данных и первичную оценку технического состояния сооружений, выполняемую специалистами групп наблюдений.

Третий уровень — управление канала — включает выполнение итогового анализа наблюдений, формирование итоговой оценки технического состояния сооружений, выявление причин снижения безопасности сооружений, развитие систем контроля состояния ГТС, прогнозирование, своевременное выявление и предупреждение кризисных ситуаций.

За многолетнюю историю канала имени Москвы система наблюдений видоизменялась. Долгое время основной действующей на канале системой наблюдений или мониторинга безопасности ГТС являлись разработки инженеров — пионеров технической эксплуатации канала, работавших здесь в 1930—1940-е гг.

Сведений об истории наблюдений на канале сохранилось мало. В настоящее время мы располагаем «Общей инструкцией по исследованиям и наблюдениям за сооружениями канала Москва — Волга», выпущенной в 1943 г., разработанной инженерами УКиМ П.А. Шанкиным, А.М. Румянцевым [1]. Уже в то время были сформированы и описаны все основные объекты наблюдений и исследований, заложены основы методики наблюдений.

В 1870—1980-е гг. в Управлении канала имени Москвы наблюдениями за ГТС занимались отдел наблюдений и изыскательская партия, выполнявшие сложные наблюдения, а также специальные наблюдения с привлечением научных организаций. Это были многочисленные исследования прочности бетона, фильтрационного режима и прочие расчетные исследования. В те годы наблюдениями и исследованиями занимались такие известные гидротехники канала имени Москвы, как В.Е. Ни [2—8].

В 1990-е гг. наблюдениям за ГТС не уделялось должного внимания, был сокращен отдел по наблюдениям и изыскательская партия. Ответственность за выполнение работ по наблюдениям была передана районам ГТС, утрачена роль правления как аналитического центра. Итоговая информация по наблюдениям стала направляться в отдел гидросооружений, более ориентированный на эксплуатацию ГТС, а не на ведение мониторинга. Хотя безопасная эксплуатация и является итоговой составляющей работы по мониторингу безопасности, но она должна основываться на надежных наблюдениях и анализе технического состояния [9].

В 1997 г. был принят Федеральный закон № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [10], который, казалось бы, должен был дать толчок развитию системы мониторинга. Были созданы надзорные органы, началось активное декларирование безопасности ГТС, но развитие системы мониторинга так и не произошло.

Начало 2000-х гг. внесло положительные составляющие в развитие мониторинга. Была разработана необходимая нормативная документация в сфере ведения мониторинга. Большая часть работ по сбору, обработке и хранению информации, предварительному анализу и диагностике состояния сооружений легла на группы наблюдений РГС [11].

В 2011 г. были утверждены «Методические рекомендации по контролю технического состояния и оценке безопасности судоходных гидротехнических сооружений» [12], регламентирующие процесс оценки технического состояния судоходных ГТС и определения их уровня безопасности [13].

В 2012 г. в Управлении канала имени Москвы был вновь создан отдел мониторинга безопасности ГТС, занимающийся информационной поддержкой разработки и реализации мер по своевременному прогнозированию, выявлению и предупреждению угроз и кризисных ситуаций в отношении гидротехнической части ГТС, развитием систем контроля их состояния.

Мониторинг безопасности ГТС канала разделен на три направления: гидротехническая часть, механическое и электротехническое оборудование.

В данной статье более подробно раскрываются проблемы и задачи мониторинга безопасности в отношении гидротехнической части сооружений. В настоящее время мониторинг безопасности ГТС ведется на основании устаревшей, но действующей инструкции по наблюдениям и исследованиям на судоходных ГТС 1981 г. [14]. Мониторинг выполняется в соответствии с графиками осмотров и наблюдений за гидротехнической частью и графиками осмотров подводных элементов сооружений канала имени Москвы, результаты которых направляются в ФАУ «Российский Речной Регистр».

При реконструкции или строительстве новых сооружений мониторинг регламентируется СП 58.13330.2012 [15], предусмотрено применение современных средств измерений и программных комплексов.

В настоящее время на предприятии автоматические средства измерений применяются только для наблюдений за уровнями воды в бьефах, необходимых в работе энергодиспетчерской.

Для повышения качества мониторинга технического состояния ГТС в группах наблюдений РГС и управлении внедрена информационно-диагностическая система мониторинга технического состояния БИНГ-3, позволяющая выполнять сбор, анализ и хранение информации о состоянии ГТС, осуществлять оперативный контроль сооружений с применением современных методов [16].

В соответствии с [14] в целях мониторинга технического состояния гидротехнической и строительной части судоходных ГТС выполняются следующие наблюдения:

1. Визуальные осмотры грунтовых и бетонных сооружений, результаты которых записываются в журнал, здесь же выполняются зарисовки основных

дефектов. Результаты перепечатывают и перерисовывают в БИНГ-3 (в настоящее время сторонней организацией разработан и испытан программно-аппаратный модуль, с помощью которого гидротехник вносит данные в планшетный компьютер при обходе, а позже сохраняет в БИНГ-3).

2. Контроль уровней воды осуществляется в автоматическом режиме, а также измеряется вручную один раз в месяц (при реализации современных методов измерения ведутся постоянно, сразу поступают в программный комплекс БИНГ-3, выполняющий оценку технического состояния).

3. Контроль высотного положения грунтовых и бетонных сооружений выполняется нивелировкой один раз в 3—5 лет. Результаты нивелировок заносятся в БИНГ-3. При реализации современных методов измерений наблюдения выполняются роботизированным тахеометром, автоматически несколько раз в сутки, определяющим пространственное положение визирных целей, расположенных в контрольных точках. Данные сразу поступают в БИНГ-3, оценивающий техническое состояние наблюдаемого объекта. При таком методе точность измерений снижается с 0,1 до 2 мм, но повышение оперативности делает более вероятным своевременное выявление деструктивных процессов, которые характеризуют перемещения более чем на 10 мм.

4. Контроль плановых перемещений (перемещение верха секции шлюза в поперечном направлении) осуществляется вручную штангенциркулем по щелемерам. Измерение выполняется в каждом шве между соседними секциями, т.е. носит относительный характер, что вызывает затруднения при интерпретации полученных результатов. Наблюдения выполняют один раз в месяц, результаты записывают в журнал и потом заносят в БИНГ-3. При реализации современных методов комплекс, использующийся для мониторинга высотных перемещений, одновременно используется и для наблюдений перемещений в плане. Все сказанное в отношении наблюдений за высотными перемещениями применимо и к плановым, но добавляется однозначность трактовки полученных результатов вследствие определения абсолютных перемещений для каждой визирной цели, а не относительных перемещений в швах между соседними секциями, как сейчас.

5. Контроль фильтрации осуществляют по пьезометрам, показывающим уровень грунтовых вод, измерения выполняют рулеткой один раз в 3 недели, результат записывают в журнал и потом заносят в БИНГ-3. При реализации современных методов крышка пьезометра оборудуется устройством, от которого вниз в трубу опускается датчик измерения уровня воды, передача информации от устройства осуществляется по проводу к серверу и потом по сети предприятия или через модем по сети мобильной связи, далее она поступает в БИНГ-3, выполняющий оценку технического состояния.

6. Контроль глубин для предотвращения потери устойчивости сооружения при размыве дна рядом с ним выполняется один раз в 3 года. Промеры выполняются наметкой с лодки по створам, результаты записываются в журнал и заносятся в БИНГ-3. В настоящее время осуществляется переход к использованию эхолотов с модулем спутникового позиционирования.

7. Осмотры подводных элементов выполняются водолазами в присутствии гидротехника; по результатам составляется акт, представляемый в управление.

8. Контроль утечек воды через затворы на участке с машинным подъемом воды выполняется один раз в квартал, результаты заносятся в журнал.

9. Замер толщины льда выполняется один раз в неделю, данные заносятся в журнал.

Более детально остановимся на ведении мониторинга безопасности на шлюзах канала имени Москвы.

Большинство шлюзов построено по типовому проекту, в качестве примера рассмотрим шлюз № 2. Аналогичная конструкция и условия эксплуатации у шлюзов № 3—6.

Шлюз № 2 — однокамерный, докового типа, общая длина шлюза — 367,0 м, полезная длина камеры — 290,0 м, полезная ширина камеры — 30,0 м. Минимальная глубина на пороге — 5,52 м. Камера разделена на 15 секций. Толщина днища 4,0 м, толщина стен понизу 6,0 м, поверху 1,0 м. Высота стен камеры 16,0 м.

Стены камеры шлюза выполнены из железобетона проектной марки В15 (М200). Проектом предусмотрена разбивка стен по высоте на четыре блока бетонирования. Максимальный расчетный напор составляет 11,31 м. Напор при нормальном подпорном уровне равен 6,00 м [17, 18].

Для наблюдения за техническим состоянием сооружения в настоящее время применяется следующая контрольно-измерительная аппаратура (КИА):

для наблюдения за осадками камеры и голов шлюза установлены высотные марки и репера (рис. 1);

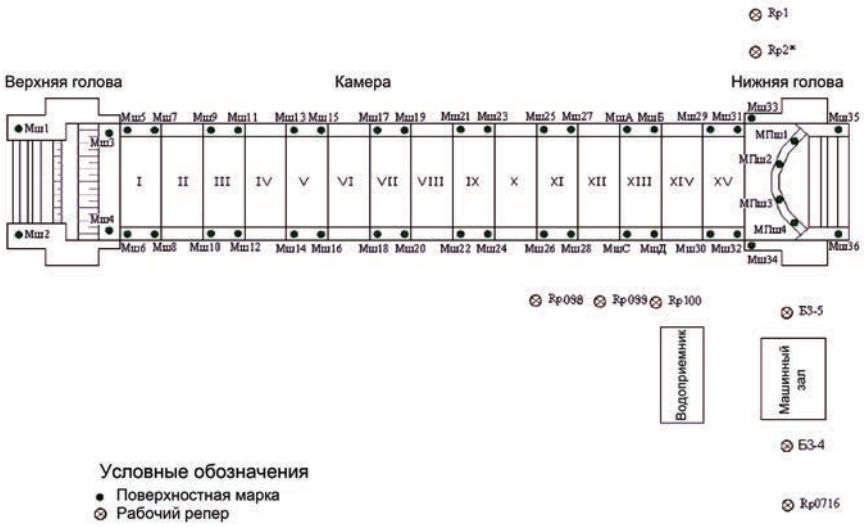


Рис. 1. Схема расположения высотных марок и реперов на шлюзе № 2

для наблюдений за абсолютными и относительными перемещениями стен и голов шлюза установлены струны, уголковые и трехмарочные щелемеры (рис. 2);

наблюдения за фильтрационным режимом и работой противофильтрационных устройств выполняются по пьезометрам, установленным на территории шлюза (рис. 3);

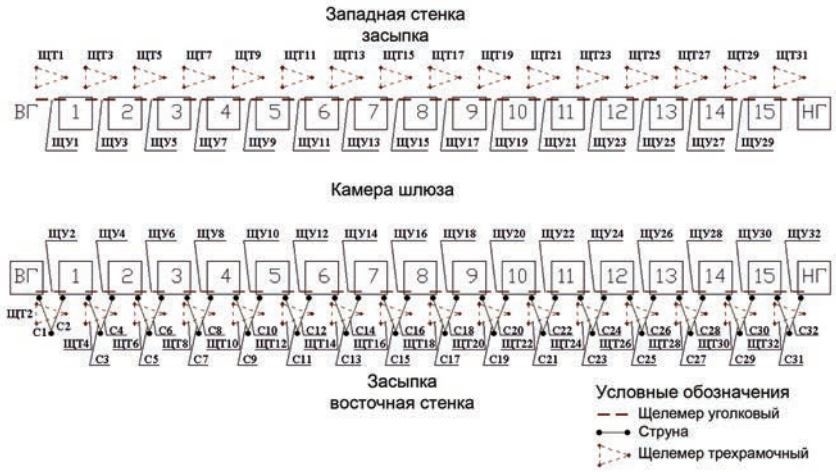


Рис. 2. Схема расположения струн, уголковых и трехмарочных щелемеров камеры шлюза № 2

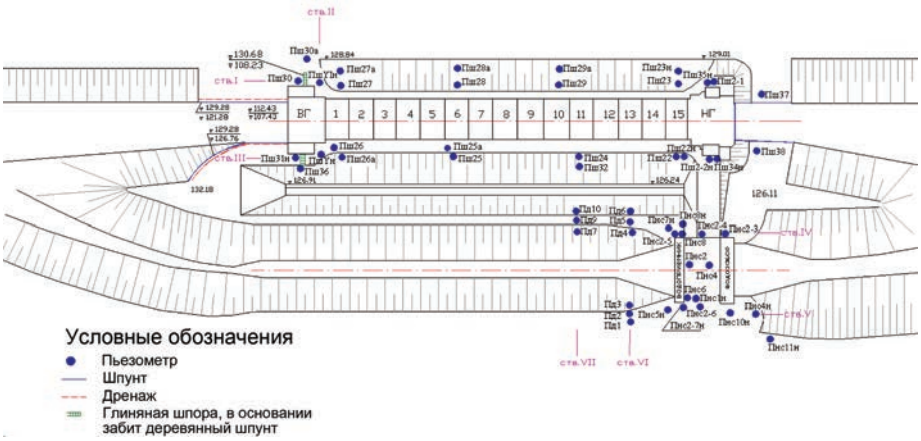


Рис. 3. Схема расположения пьезометров на гидроузле № 2

наблюдения за уровнями воды в бьефах выполняются в автоматическом режиме и еженедельно контролируются по гидрометрическим рейкам.

Выполняется весь комплекс наблюдений в соответствии с [14].

В результате многолетних наблюдений и на основании визуальных осмотров специалистами канала было выявлено развитие деструктивных процессов в бетоне наружных (лицевых) зон шлюза и образование магистральных горизонтальных трещин, переходящих в сжатых зонах в наклонные. На основании показаний КИА, а именно наблюдений за плановым перемещением верха стен камеры шлюза, был зафиксирован рост необратимых деформации стен в сторону камеры [2].

На основании полученных данных было принято решение о выполнении работ по усилению стен камер шлюзов, а именно: закрепление стен преднапряженными армопучками, стальными нагелями, анкерными тягами; ремонт лицевого бетона стен методом колонн [19]. Тем самым на время было приостановлено развитие деструктивных процессов в стенах (рис. 4, 5).

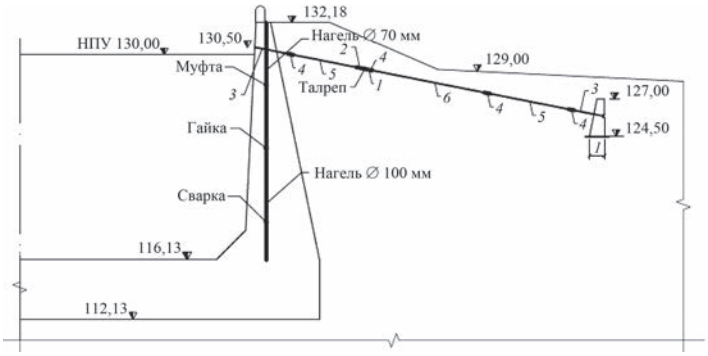


Рис. 4. Схема проведенных работ по закреплению западной стены камеры шлюза № 2

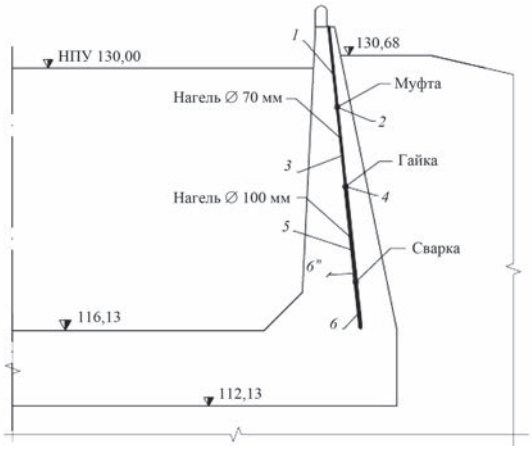


Рис. 5. Схема проведенных работ по закреплению восточной стены камеры шлюза № 2

Усиление западной стены выполнено в 1959—1978 гг. На восточной стене к работам по ее укреплению еще не приступали.

По материалам наблюдений за последние годы вновь начинает прослеживаться тенденция смещения стен, особенно восточной, что дает основание сделать вывод об их неудовлетворительном состоянии (рис. 6).

На основании материалов наблюдений за фильтрационным режимом можно предположить, что в обратной засыпке шлюза отсутствует единый водоносный горизонт или выраженная кривая депрессии. Разброс результатов наблюдений обусловлен разнородностью обратной засыпки, разной глубиной установки пьезометрических скважин и большой вероятностью водонасыщения засыпки из камеры шлюза — через швы между секциями и трещины в бетоне.

В настоящее время, несмотря на наличие более чем достаточного количества КИА, оценка состояния сооружения не может быть окончательно достоверной и обоснованной из-за того, что вся установленная на шлюзе КИА имеет значительный срок эксплуатации, и ее показания носят неоднозначный характер. Для уменьшения вероятности ошибки в наблюдениях и повышения качества ведения мониторинга высотного положения шлюза на территории гидроузла были установлены новые кусты глубинных высотных реперов и произведена их привязка к высотной государственной геодезической сети. Это позволит свести ошибки в контроле высотного положения шлюза к минимуму.

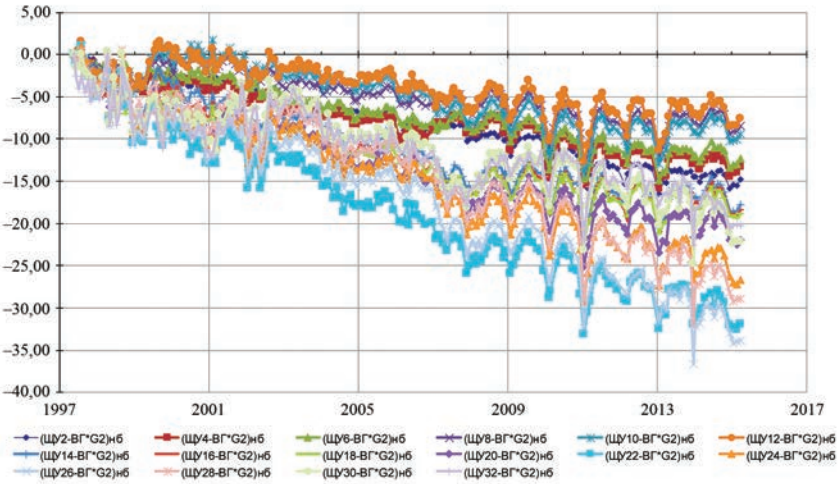


Рис. 6. График перемещения восточной стены камеры шлюза № 2 по уголковым щелемерам

Кроме того, установка новых глубинных реперов стала предпосылкой для возобновления работ по переводу отметок сооружений канала имени Москвы в Балтийскую систему высот 1977 г.

Если говорить о реализации современных автоматизированных комплексов мониторинга безопасности ГТС применительно к сооружениям канала имени Москвы, то первым сооружением, на котором это будет реализовано, является гидроузел Кузьминск, окончание строительства которого намечено на 2015 г.

В рамках реализации второго этапа Федеральной целевой программы комплексной реконструкции объектов инфраструктуры канала имени Москвы в настоящее время ведутся работы по реализации проекта реконструкции КИА гидроузла Кузьминск (рис. 7).

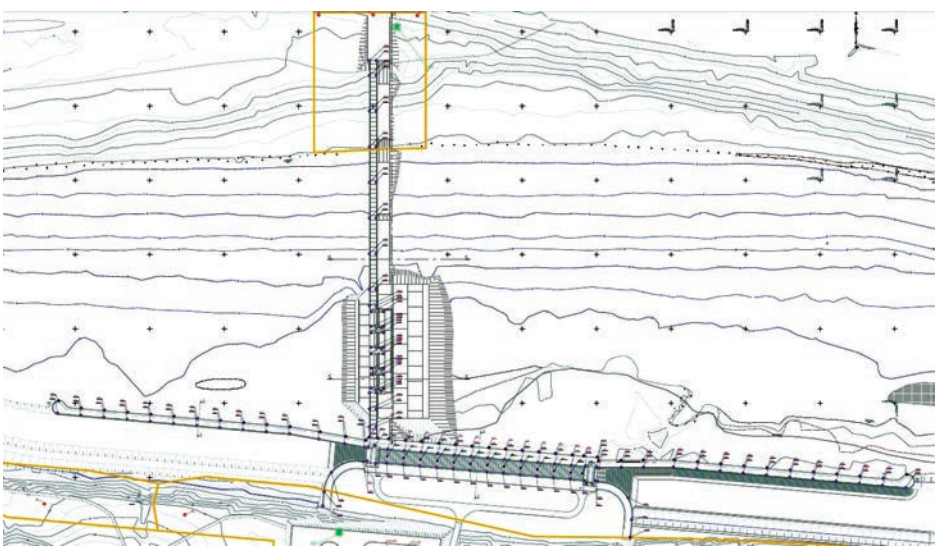


Рис. 7. Схема расположения визирных целей на гидроузле Кузьминск

На этом гидроузле будет применена новая для канала система мониторинга, отвечающая современным требованиям и включающая:

компьютерные средства представлены автоматизированным рабочим местом диспетчера под управлением программы SODIS Building;

компьютерные программные средства, включающие автоматизированный ввод данных измерений, обработку данных измерений, формирование отчетных материалов и графического оформления результатов измерений и анализа данных наблюдений;

программное обеспечение базы данных включая информацию о сооружениях гидроузла, инструкцию о составе наблюдений установленной КИА и системе мониторинга ГТС, данные диагностики и прогноза состояния сооружений, результаты анализа риска аварии;

интерфейс пользователя информации с обеспечением ввода, редактирования, корректировки информации базы данных, просмотра результатов измерений;

программные средства диагностирования, включающие регрессионный анализ результатов наблюдений, детерминистические модели работы сооружений, оценку риска аварии.

КИА представлена автоматизированными средствами геодезического контроля, автоматическими пьезометрами, датчиками порового давления, ручными рамочными щелемерами, гидрометрическими рейками. Выполнение мониторинга по данной схеме повышает качество и оперативность получаемых данных, снижает влияние человеческого фактора.

Выводы. 1. Действующая в настоящее время Инструкция по наблюдениям и исследованиям на судоходных ГТС [14] требует актуализации и дополнения в связи с обновлением средств измерений, а также дополнения состава наблюдений сбором данных, используемых при оценке технического состояния согласно критериям, утверждаемым в составе декларации безопасности.

2. Необходим комплексный подход к формированию новых нормативных документов в сфере мониторинга, учитывающий критериальные параметры оценки технического состояния гидротехнической части ГТС.

3. Несмотря на большое количество КИА, установленной на сооружениях, и достаточности выполняемых наблюдений, все же встает вопрос о достоверности получаемых данных по причине морального устаревания применяемой КИА.

4. Для качественного контроля горизонтальных перемещений элементов сооружений одних щелемерных наблюдений недостаточно. На шлюзах необходимо организовывать створные наблюдения за абсолютными перемещениями стен камер шлюзов.

5. Необходимо обратить внимание на выполнение комплексного анализа достоверности оценки деформаций сооружений, т.е. рассматривать данные нивелировок, горизонтальных перемещений стен, а также параметры, характеризующие величины нагрузок и воздействий на сооружения (уровни бьефов, температуру воздуха, уровни воды в пьезометрах) в комплексе.

6. Особое внимание необходимо уделить регламенту численности персонала, выполняющего мониторинг безопасности ГТС.

7. Старение сооружений и несоблюдение интервалов между ремонтами повышает риск развития деструктивных процессов [20—22].

Повышение рисков требует изменения методики мониторинга состояния ГТС. Развитие деструктивных процессов (потеря прочности бетона приводит к разрушению элемента; вынос частиц грунта из основания — к потере несущей способности грунта и осадке сооружения; повышение уровня грунтовых вод — к оползанию откоса; подъем уровня воды в бьефе — к переливу через грунтовое сооружение и его разрушению; размыв дна — к потере устойчивости сооружения) характеризуется их нелинейностью во времени. Вялотекущий процесс, длящийся десятилетиями, при переходе на следующий качественный уровень может получить катастрофическое развитие в течение нескольких часов. Для надежного прогнозирования необходим более короткий интервал некоторых наблюдений, реализация которого возможна при выполнении измерений и их обработки в автоматическом режиме с применением современных программных комплексов.

Библиографический список

1. *Шанкин П.А., Румянцев А.М.* Общая инструкция по исследованиям и наблюдениям за гидротехническими сооружениями канала Москва-Волга. М. ; Л : Гос. энергетич. изд-во, 1943. 60 с.

2. *Ни В.Е.* Результаты наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений канала имени Москвы // Гидротехническое строительство. 1977. № 12. С. 28—33.

3. *Бочаров В.В., Ни В.Е.* Повышение надежности шлюзов // Речной транспорт. 1982. № 3. С. 35—36.

4. *Ни В.Е.* О прочности стен камер шлюзов // Гидротехническое строительство. 1982. № 9. С. 35—38.

5. *Ни В.Е.* Надзор за надежностью и безопасностью гидротехнических сооружений канала имени Москвы // Гидротехническое строительство. 1987. № 6. С. 11—17.

6. *Пухов И.Е.* Физико-механические свойства бетона шлюзов канала имени Москвы // Гидротехническое строительство. 1988. № 8. С. 44—46.

7. *Рубин О.Д., Умнова Р.В., Ни В.Е.* Анализ работы и усиление стен доковых шлюзов // Гидротехническое строительство. 1988. № 8. С. 47—79.

8. *Рубин О.Д., Умнова Р.В., Ни В.Е.* Усиление эксплуатируемых подпорных сооружений // Гидротехническое строительство. 1989. № 12. С. 42—45.

9. *Волков В.И., Каганов Г.М.* О терминологии нормативно-правовых документов, связанных с обеспечением безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2010. № 3. С. 44—48.

10. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ. О безопасности гидротехнических сооружений (с изменениями и дополнениями) // Портал ГАРАНТ.РУ. Режим доступа: http://base.garant.ru/12100061/#help#ixzz3YUsxcr7F/. Дата обращения: 25.03.2015.

11. *Василевский А.Г., Серков В.С.* О некоторых результатах применения Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» // Гидротехническое строительство. 2009. № 9. С. 34—38.

12. Методические рекомендации по контролю технического состояния и оценке безопасности судоходных гидротехнических сооружений / Утв. зам. рук. Фед. агент. мор. и реч. транс. В.Н. Вовк 15.04.2011 г. М. : РОСМОРРЕЧФЛОТ, 2011. 136 с.

13. *Волосухин В.А., Волосухин Я.В.* О проблемных вопросах в области безопасности гидротехнических сооружений / Опыт проектирования и эксплуатации объектовых

систем мониторинга. Нормативно-методическое обеспечение: состояние и перспективы развития : науч.-практ. конф. (ФГБУ ВНИИ ГОЧС 26 октября 2011 г.) // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. Специальный выпуск. С. 84—97.

14. Инструкция по наблюдениям и исследованиям на судоходных гидротехнических сооружениях. Часть I. Гидротехническая. М. : Транспорт, 1981. 95 с.

15. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01—2003. М. : Минрегион России, 2012. 52 с.

16. *Мельников Е., Морозов В., Краснощеков И.* Разработка системы контроля состояния гидротехнических сооружений судоходного шлюза // СТА: Современные технологии автоматизации. 2012. № 4. С. 80—84.

17. *Левачев С.Н., Мельник Г.В., Даревский В.Э., Федорова Т.С.* Напряженно-деформированное состояние стен камеры шлюза № 2 Канала имени Москвы // Гидротехника. 2012. № 4 (29). С. 85—90.

18. *Левачев С.Н., Федорова Т.С.* Напряженно-деформированное состояние бетона стен камер шлюзов канала имени Москвы // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 137—149.

19. Закрепление стен камер шлюзов № 1—9 методом колонн / ООО «Гидростройремонт». М., 2005. 25 с.

20. *Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Базанов В.Е., Борисов Т.Ю., Шурухин Л.А.* Коррозионное состояние бетонных и железобетонных конструкций шлюзов Рыбинского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2010. № 5. С. 4—15.

21. *Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Базанов В.Е., Борисов Т.Ю., Шурухин Л.А.* Коррозионное состояние железобетонных и каменных конструкций зданий Рыбинского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2010. № 6. С. 19—29.

22. *Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Базанов В.Е., Борисов Т.Ю., Шурухин Л.А.* Состояние бетона гидротехнических сооружений Рыбинского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2010. № 7. С. 22—31.

Поступила в редакцию в апреле 2015 г.

Об авторах: **Левачев Станислав Николаевич** — кандидат технических наук, профессор кафедры гидротехнического строительства, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (495) 287-49-14, levachev@inbox.ru;

Федорова Татьяна Сергеевна — начальник отдела мониторинга безопасности гидротехнических сооружений, **ФГУП «Канал имени Москвы»**, 125362, г. Москва, ул. Водников, д. 1, 8 (499) 638-42-01 вн. 627; аспирант кафедры гидротехнического строительства, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (495) 287-49-14, fedorova_tanya@rocketmail.com.

Для цитирования: *Левачев С.Н., Федорова Т.С.* Развитие системы мониторинга безопасности на гидротехнических сооружениях канала имени Москвы // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 73—85.

S.N. Levachev, T.S. Fedorova

DEVELOPMENT OF THE SAFETY MONITORING SYSTEM OF HYDRAULIC STRUCTURES OF THE MOSCOW CANAL

The basis of the enterprise “Moscow Canal” in its present state is the canal Moscow — Volga constructed in 1937. Today “Moscow Canal” is the biggest water transport and water industry complex. It has 10 filiations and solves a substantial complex of tasks.

One of the most important part of hydraulic structures operation is their observation or monitoring of their safety, which gives us timely and adequate picture of their work and helps to forecast and prevent emergency situations.

The article is devoted to the development of the monitoring system of the waterworks of the Moscow canal beginning with the moment of its construction to the present time, the observation analysis of the condition of the walls of canal locks chambers, lock no. 2 where destructive processes in the operation of the walls were first discovered and different methods of liquidation of their development were made. The main problems in the field of monitoring of hydrotechnical structures of the Moscow canal are identified basing on the analysis of the observations.

Key words: Moscow Canal, safety monitoring, lock, observations, shifting.

References

1. Shankin P.A., Rumyantsev A.M. *Obshchaya instruktsiya po issledovaniyam i nablyudeniyam za gidrotekhnicheskimi sooruzheniyami kanala Moskva-Volga* [General Instructions for Research and Observations of the Hydraulic Structures of the Canal Moscow-Volga]. Moscow, Leningrad, Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatel'stvo, 1943, 60 p. (In Russian)

2. Ni V.E. Rezul'taty nablyudeniy za sostoyaniem gidrotekhnicheskikh sooruzheniy kanala imeni Moskvy [The Results of Observations of the Hydraulic Structures State of the Moscow Canal]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1977, no. 12, pp. 28—33. (In Russian)

3. Bocharov V.V., Ni V.E. Povyshenie nadezhnosti shlyuzov [Improving the Reliability Gateways]. *Rechnoy transport* [River Transport]. 1982, no. 3, pp. 35—36. (In Russian)

4. Ni V.E. O prochnosti sten kamer shlyuzov [On the Strength of the Walls of the Chambers Gateways]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1982, no. 9, pp. 35—38. (In Russian)

5. Ni V.E. Nadzor za nadezhnost'yu i bezopasnost'yu gidrotekhnicheskikh sooruzheniy kanala imeni Moskvy [Oversight of the Reliability and Safety of Hydraulic Structures of the Moscow Canal]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1987, no. 6, pp. 11—17. (In Russian)

6. Pukhov I.E. Fiziko-mekhanicheskie svoystva betona shlyuzov kanala imeni Moskvy [Physical and Mechanical Properties of Concrete Gateway of the Moscow Canal]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1988, no. 8, pp. 44—46. (In Russian)

7. Rubin O.D., Umnova R.V., Ni V.E. Analiz raboty i usilenie sten dokovykh shlyuzov [Work Analysis of and Strengthening the Walls of Dock Gateways]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1988, no. 8, pp. 47—79. (In Russian)

8. Rubin O.D., Umnova R.V., Ni V.E. Usilenie ekspluatiruemykh podpornykh sooruzheniy [Strengthening the Operating Retaining Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 1989, no. 12, pp. 42—45. (In Russian)

9. Volkov V.I., Kaganov G.M. O terminologii normativno-pravovykh dokumentov, svyazannykh s obespecheniem bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [On the Terminology of Legal Documents Related to the Safety of Hydraulic Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2010, no. 3, pp. 44—48. (In Russian)

10. Federal'nyy zakon ot 21 iyulya 1997 g. № 117-FZ. O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (s izmeneniyami i dopolneniyami) [Federal Law no. 177-FZ from July 21, 1997 on Safety of Hydraulic Structures]. Internet Portal GARANT.RU. Available at: http://base.garant.ru/12100061/#help#ixzz3YUsxcr7F/. Date of access: 25.03.2015. (In Russian)

11. Vasilevskiy A.G., Serkov V.S. O nekotorykh rezul'tatakh primeneniya Federal'nogo zakona «O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy» [Some Results of the Application of the Federal Law on Safety of Hydraulic Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2009, no. 9, pp. 34—38. (In Russian)

12. *Metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu tekhnicheskogo sostoyaniya i otsenke bezopasnosti sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Methodical Recommendations on the Control of Technical Condition and Safety Assessment of Shipping Waterworks]. Utverzhdeno zamestitelem rukovoditelya Federal'nogo agentstva morskogo i rechnogo transporta V.N. Vovk 15.04.2011 g. [Approved by the Deputy Director of Federal Agency of See and River Transport V.N. Vovk on 25.04.2011]. Moscow, ROSMORREChFLOT Publ., 2011, 136 p. (In Russian)

13. Volosukhin V.A., Volosukhin Ya.V. O problemnykh voprosakh v oblasti bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Opyt proektirovaniya i ekspluatatsii ob'ektovykh sistem monitoringa. Normativno-metodicheskoe obespechenie: sostoyanie i perspektivy razvitiya : nauchno-prakticheskaya konferentsiya (FGBU VNII GOChS 26 oktyabrya 2011 g.) [On Problematic Issues in the Field of Safety of Hydraulic Structures. Design and Operation Experience of Object Monitoring Systems. Normative and Methodological Support: State and Development Prospects : Science and Practice Conference (FGBU VNII GOChS October 26, 2011)]. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'. 2011. Spetsial'nyy vypusk* [Monitoring. Science and Safety. Special Edition]. Pp. 84—97. (In Russian)

14. *Instruktsiya po nablyudeniyam i issledovaniyam na sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh. Chast' I. Gidrotekhnicheskaya* [Manual for Observations and Research on Navigable Hydraulic Structures. Part I. Hydrotechnical]. Moscow, Transport Publ., 1981, 95 p. (In Russian)

15. *SP 58.13330.2012. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 33-01—2003* [Requirements SP 58.13330.2012. Hydraulic Engineering Structures. The Main Provisions. Revised Edition of SNiP 33-01-2003]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012, 52 p. (In Russian)

16. Mel'nikov E., Morozov V., Krasnoshchekov I. Razrabotka sistemy kontrolya sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy sudokhodnogo shlyuza [Development of the System for Condition Monitoring of Hydraulic Structures Ship Lock]. *STA: Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii* [CTA (Contemporary Technologies in Automation)]. 2012, no. 4, pp. 80—84. (In Russian)

17. Levachev S.N., Mel'nik G.V., Darevskiy V.E., Fedorova T.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie sten kamery shlyuza № 2 Kanala imeni Moskvy [The Stress-Strain State of the Walls of the Lock Chamber no. 2 of the Moscow Canal]. *Gidrotekhnika* [Hydrotechnics]. 2012, no. 4 (29), pp. 85—90. (In Russian)

18. Levachev S.N., Fedorova T.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie betona sten kamer shlyuzov kanala imeni Moskvy [Stress-Strain State of Concrete in the Walls of Lock Chambers of the Moscow Channel]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 8, pp. 137—149. (In Russian)

19. Zakreplenie sten kamer shlyuzov № 1—9 metodom kolonn [Securing the Walls of Locks no. 1—9 by Columns]. LLC «Gidrostroyremont». Moscow, 2005, 25 p. (In Russian)

20. Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Bazanov V.E., Borisov T.Yu., Shurukhin L.A. Korrozionnoe sostoyanie betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy shlyuzov Rybinskogo gidrouzla [Corrosion State of Concrete and Reinforced Concrete Structures of the Gateways of Rybinsk Hydroelectric Complex]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2010, no. 5, pp. 4—15. (In Russian)

21. Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Bazanov V.E., Borisov T.Yu., Shurukhin L.A. Korrozionnoe sostoyanie zhelezobetonnykh i kamennykh konstruktsiy zdaniy Rybinskogo gidrouzla [Corrosion State of Reinforced Concrete and Stone Constructions of the Structures of Rybinsk Hydroelectric Complex]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2010, no. 6, pp. 19—29. (In Russian)

22. Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Bazanov V.E., Borisov T.Yu., Shurukhin L.A. Sostoyanie betona gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Rybinskogo gidrouzla [The State of Concrete Hydraulic Structures of Rybinsk Hydroelectric Complex]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction]. 2010, no. 7, pp. 22—31. (In Russian)

About the authors: **Levachev Stanislav Nikolaevich** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Hydraulic Engineering Construction, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; levachev@inbox.ru; +7 (495) 287-49-14;

Fedorova Tat'yana Sergeevna — head, Department of Hydraulic Structures Safety Monitoring, **Federal State Unitary Enterprise "Moscow Canal"**, 1 Vodnikov str., Moscow, 125362, Russian Federation; +7 (499) 638-42-01 (ext. 627); postgraduate student, Department of Hydraulic Engineering Construction, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaro-slavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; fedorova_tanya@rocketmail.com; +7 (495) 287-49-14.

For citation: Levachev S.N., Fedorova T.S. Razvitie sistemy monitoringa bezopasnosti na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh kanala imeni Moskvy [Development of the Safety Monitoring System of Hydraulic Structures of the Moscow Canal]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 73—85. (In Russian)

УДК 532.5

М.Л. Медзвелия, В.С. Боровков
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

КОЭФФИЦИЕНТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРЕНИЯ ЛАМИНАРНЫХ ОТКРЫТЫХ ПОТОКОВ В ГЛАДКИХ РУСЛАХ

Рассмотрена зависимость коэффициента гидравлического трения ламинарных открытых потоков от относительной ширины русла с гладким дном. Показано, что коэффициент гидравлического трения ламинарных открытых потоков в гладких руслах зависит от относительной ширины русла. Показано также, что формула Чарного удовлетворительно согласуется с теоретической формулой и опытными данными.

Ключевые слова: число Рейнольдса, коэффициент гидравлического трения, равномерные потоки, растворы глицерина, ширина русла, формула Чарного.

Вопросу о закономерностях гидравлических сопротивлений в открытых руслах посвящены многочисленные экспериментальные и аналитические исследования, в результате которых предложено большое число расчетных зависимостей [1—4]. Однако эти формулы в ряде случаев значительно расходятся между собой. Актуальным является вопрос о влиянии формы поперечного сечения русла и состояния потока на величину потерь напора [5—8].

Коэффициент гидравлического трения λ равномерных открытых потоков в гладких руслах для ламинарного режима определяется функциональной зависимостью [9, 10]

$$\lambda = f\left(\mathrm{Re}, B/h_0\right), \qquad (1)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения; $\mathrm{Re} = \frac{4VR}{\nu}$ — число Рейнольдса; V — средняя скорость; R — гидравлический радиус; ν — кинематическая вязкость; B/h_0 — относительная ширина; h_0 — нормальная глубина.

Для выяснения вида функции (1) проводились специальные исследования [11, 12], полученные опытные значения наносились на график $\lambda = f(\mathrm{Re})$ (рис. 1, 2) при заданном значении относительной ширины B/h_0 (B/h_0 = 4; 5; 6; 7; 10; 20). На график рис. 2 также нанесены опытные точки Вернера при B/h_0 = 2, а на график рис. 1 нанесены также опытные точки Нельсона при B/h_0 = 5 [13], Вернера B/h_0 = 10 и Аль-Хедера [14] при B/h_0 = 25. На графиках видно, что с увеличением относительной ширины русла (при заданном числе Рейнольдса) коэффициент гидравлического трения возрастает. На графике рис. 1 также видно, что опытные точки Вернера $\left(B/h_0{=}10\right)$ лежат несколько выше наших опытных точек $\left(B/h_0{=}10\right)$, а опытные точки Нельсона при $\left(B/h_0{=}5\right)$, что удовлетворительно согласуется с нашими опытными точками $\left(B/h_0{=}5\right)$.

© Медзвелия М.Л., Боровков В.С., 2015

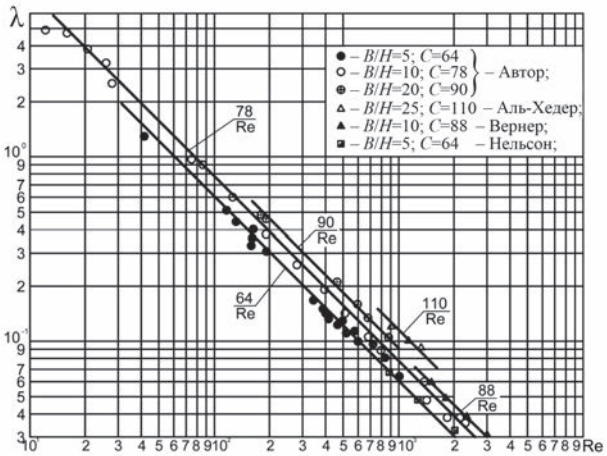


Рис. 1. Кривые сопротивления при ламинарном движении $\lambda = f\left(\mathrm{Re}, B/h_0\right)$

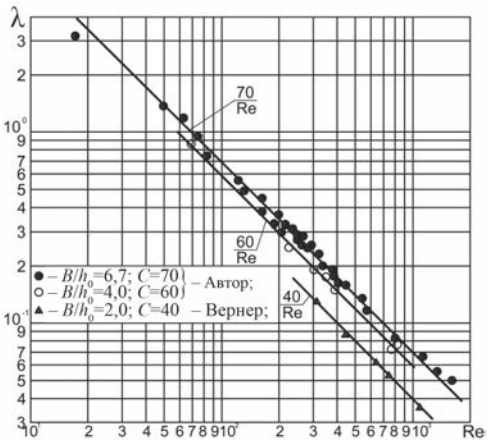


Рис. 2. Кривые сопротивления $\lambda = f\left(\mathrm{Re}, B/h_0\right)$ при ламинарном движении в гладком русле

На графике рис. 3 в координатах λ — Re (при заданной относительной ширине B/h_0) для ламинарного течения нанесены опытные данные Вернера при B/h_0 = 5,24 и Аллена при B/h_0 = 0,1; 0,176. На графике рис. 3 видно (в противоположность тому, что было обнаружено из рис. 1 и 2), что с увеличением относительной ширины русла коэффициент гидравлического трения λ уменьшается.

Как известно в общем случае ламинарного течения имеет место зависимость

$$\lambda = \frac{C}{\mathrm{Re}}. \qquad (2)$$

Для гладких круглых труб C = 64, для гладких плоских потоков C = 96.

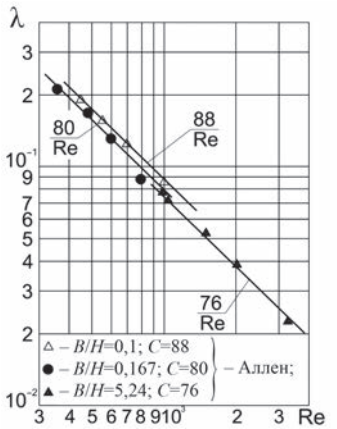


Рис. 3. Кривые сопротивления $\lambda = f\left(\mathrm{Re}, B/h_0\right)$, при ламинарном движении в гладком русле

Из графиков рис. 1—3 были определены значения C, которые затем наносились на график $C = f\left(B/h_0\right)$ (рис. 4) и сравнивались с теоретической зависимостью

$$C = \frac{96}{\left(1+\frac{2}{B/h_0}\right)^2\left(1-\frac{384\sum\limits_{n=1,3,5}^{\infty}\frac{1}{n^5}\operatorname{tg}h_0\frac{n\Pi}{4}B/h_0}{\Pi^5\,B/h_0}\right)}, \quad (3)$$

полученной путем интегрирования уравнений Навье — Стокса [15], а также с приближенной формулой И.А. Чарного [16]

$$Q = 0,26\frac{gi}{\nu}\frac{B^3h_0^3}{B^2+4h_0^2}, \quad (4)$$

где Q — расход жидкости; g — ускорение земного притяжения; i — уклон дна русла; B — ширина русла; h_0 — нормальная глубина; ν — кинематическая вязкость.

Из последней формулы, подставляя значения для i в известную из гидравлики формулу для коэффициента гидравлического трения $\lambda = \frac{8gRi}{V^2}$, где R — гидравлический радиус; V — средняя скорость, и приравнивая к зависимости (2), получим

$$C = 120\frac{\left(\frac{B}{h_0}\right)^2+4}{\left(\frac{B}{h_0}+2\right)^2}. \quad (5)$$

Для рассматриваемого случая известна также эмпирическая формула Хопфа

$$V = \frac{gh_0^2\,i}{3\nu}\left(1-0,315\frac{h_0}{B}\right), \quad (6)$$

которую преобразуем к виду

$$\frac{8gR}{V^2}\frac{3V\nu}{gh_0^2\left(1-0,315\frac{h_0}{B}\right)} = \frac{C\nu}{4RV}$$

и получим

$$C = 96\frac{\left(\frac{B}{h_0}\right)^3}{\left(\frac{B}{h_0}+2\right)^2}\frac{1}{\left(\frac{B}{h_0}-0,315\right)}. \quad (7)$$

Как видно на графике рис. 4 при ламинарном режиме с увеличением относительной ширины $\frac{B}{h_0}$, значение C уменьшается, достигая своего мини-

мального значения при $\frac{B}{h_0} \approx 2,$ после чего значение C начинает увеличиваться. На графике рис. 4 видно также, что формула Хопфа (7) дает заниженные значения C в диапазоне $\frac{B}{h_0}$ от 2 до 30, а формула Чарного (5) удовлетворительно согласуется с теоретической кривой по формуле (3) и с опытными данными.

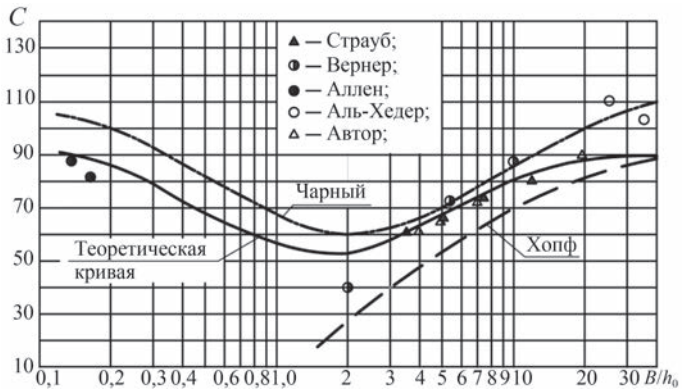


Рис. 4. Зависимость C от B/h_0 для гладких каналов при ламинарном течении

Вывод. Коэффициент гидравлического трения ламинарных открытых потоков гладких русел зависит от относительной ширины русла.

Формула Чарного удовлетворительно согласуется с теоретической формулой и с опытными данными.

Библиографический список

1. *Orellana J., Chang P.* Limitations of Chézy's equation in river hydraulics as it relates to channel geometry and flow properties // Proceedings, Annual Conference — Canadian Society for Civil Engineering. 2012. Vol. 1. Pp. 318—324.

2. *Dolgopolova E.N.* Energy losses and hydraulic friction of open and ice-covered river flow // Power Technology and Engineering. 2011. Vol. 45. No. 1. Pp. 17—24.

3. *Di Cristo C., Iervolino M., Vacca A., Zanuttigh B.* Influence of relative roughness and reynolds number on the roll-waves spatial evolution // Journal of Hydraulic Engineering. 2010. Vol. 136. No. 1. Pp. 24—33.

4. *Zhang K., Wang G., Sun X., Yang F., Lü H.* Experiment on hydraulic characteristics of shallow open channel flow on slope // Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2014. Vol. 30. No. 15. Pp. 182—189.

5. *Roche N., Daïan J.-F., Lawrence D.S.L.* Hydraulic modeling of runoff over a rough surface under partial inundation // Water Resources Research. 2007. Vol. 43. No. 8. Режим доступа: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006WR005484/full#publication-history/. Дата обращения: 20.02.2015.

6. *Альтшуль А.Д., Пуляевский А.М.* О гидравлических сопротивлениях в руслах с усиленной шероховатостью // Гидротехническое строительство. 1974. № 7. С. 27—29.

7. *Reinius R.* Steady uniform flow in open channel. Division of Hydraulics, Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 1961. Bulletin 60. 46 p.

8. *Tracy H.J., Lester C.M.* Resistance coefficient and velocity distribution in smooth rectangular channel // Geological survey water-supply paper 1592-A. Washington : US Government printing office, 1961. 18 p.

9. *Альтшуль А.Д.* Газогидравлическая аналогия Н.Е. Жуковского и ее значение для гидротехники // Гидротехническое строительство. 1948. № 8. С. 14—19.

10. *Медзвелия М.Л., Пипия В.В.* Факторы, влияющие на коэффициент гидравлического трения равномерных открытых потоков // Вестник МГСУ. 2011. № 8. С. 398—402.

11. *Альтшуль А.Д., Ляпин В.Ю., Медзвелия М.Л.* Влияние числа Фруда на коэффициент гидравлического трения равномерных открытых потоков // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1991. № 11. С. 102—105.

12. *Медзвелия М.Л., Пипия В.В.* Гидравлическое сопротивление лотков с шероховатым дном // Вестник МГСУ. 2013. № 9. С. 95—100.

13. *Straub L.G., Silberman E., Nelson H.C.* Some observations on open channel flow at small Reynolds numbers // J. eng. mech. div ASCE. 1956. Vol. 82. No. 3. Pp. 1—28.

14. *Альтшуль А.Д., Ляпин В.Ю., Аль-Хедер Б.* О влиянии формы сечения русла на гидродинамические характеристики турбулентных потоков // Известия высших учебных заведений. Энергетика. 1992. № 4. С. 91—94.

15. *Kruger F.* Der Einfluss der Querschnittsform auf den Fliesswiderstand offener Rechteckgerinne // Wasserwirtschaft-Wassertechnik. 1989. Jg. 39. Nr. 1. S. 19—20.

16. *Рабинович Е.З.* Гидравлика. 2-е изд., испр. и доп. М. : Недра, 1977. 266 с.

Поступила в редакцию в апреле 2015 г.

Об авторах: **Медзвелия Манана Левановна** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры гидравлики, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Manana_me@yahoo.com;

Боровков Валерий Степанович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры гидравлики, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 261-39-12, mgsu-hydraulic@yandex.ru.

Для цитирования: *Медзвелия М.Л., Боровков В.С.* Коэффициент гидравлического трения ламинарных открытых потоков в гладких руслах // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 86—92.

M.L. Medzveliya, V.S. Borovkov

THE COEFFICIENT OF HYDRAULIC FRICTION OF LAMINAR OPEN FLOWS IN SMOOTH CHANNELS

The article examines the dependence of the hydraulic friction coefficient of open laminar uniform streams on the relative width of channels with smooth bottom. The article presents the functional dependence that describes the hydraulic resistance in open channels with smooth bottoms.

The experiments were carried out in a rectangular tray (6000×100×200). Aqueous solutions of glycerol were used as working fluids. The superficial tension and liquid density for the used liquids changed a little.

The article declares that the coefficient of hydraulic friction λ in the zone of the laminar flow depends on the relative width of the channels with smooth bottom. In the article it is also shown that the Charny formula satisfactorily agrees with the theoretical formula and with the experimental data.

Key words: Reynolds number, hydraulic friction coefficient, uniform streams, glycerin solutions, channel width, Charny formula.

References

1. Orellana J., Chang P. Limitations of Chézy's Equation in River Hydraulics as It Relates to Channel Geometry and Flow Properties. Proceedings, Annual Conference — Canadian Society for Civil Engineering. 2012, vol. 1, pp. 318—324.

2. Dolgopolova E.N. Energy Losses and Hydraulic Friction of Open and Ice-Covered River Flow. Power Technology and Engineering. 2011, vol. 45, no. 1, pp. 17—24. DOI: http://dx.doi.org.10.1007/s10749-011-0218-4.

3. Di Cristo C., Iervolino M., Vacca A., Zanuttigh B. Influence of Relative Roughness and Reynolds Number on the Roll-Waves Spatial Evolution. Journal of Hydraulic Engineering. 2010, vol. 136, no. 1, pp. 24—33. DOI: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000139.

4. Zhang K., Wang G., Sun X., Yang F., Lü H. Experiment on Hydraulic Characteristics of Shallow Open Channel Flow on Slope. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2014, vol. 30, no. 15, pp. 182—189. DOI: http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.15.024.

5. Roche N., Daïan J.-F., Lawrence D.S.L. Hydraulic Modeling of Runoff over a Rough Surface under Partial Inundation. Water Resources Research. 2007, vol. 43, no. 8. Available at: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006WR005484/full#publication-history/. Date of access: 20.02.2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1029/2006wr005484.

6. Al'tshul' A.D., Pulyaevskiy A.M. O gidravlicheskikh soprotivleniyakh v ruslakh s usilennoy sherokhovatost'yu [On Hydraulic Resistance in Channels with Increased Unevenness]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1974, no. 7, pp. 27—29. (In Russian)

7. Reinius R. Steady Uniform Flow in Open Channel. Division of Hydraulics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1961, bulletin 60, 46 p.

8. Tracy H.J., Lester C.M. Resistance Coefficient and Velocity Distribution in Smooth Rectangular Channel. Geological Survey Water-Supply Paper 1592-A. Washington, US Government printing office, 1961, 18 p.

9. Al'tshul' A.D. Gazogidravlicheskaya analogiya N.E. Zhukovskogo i ee znachenie dlya gidrotekhniki [Hydraulic Analogy of N.E. Zhukovsky and its Role in Hydraulic Engineering]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1948, no. 8, pp. 14—19. (In Russian)

10. Medzveliya M.L., Pipiya V.V. Faktory, vliyayushchie na koeffitsient gidravlicheskogo treniya ravnomernykh otkrytykh potokov [The Factors Influencing the Pipe Friction Number of Uniform Open Channels]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 8, pp. 398—402. (In Russian)

11. Al'tshul' A.D., Lyapin V.Yu., Medzveliya M.L. Vliyanie chisla Fruda na koeffitsient gidravlicheskogo treniya ravnomernykh otkrytykh potokov [The Influence of Froude Number on the Pipe Friction Number of Uniform Open Channels]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of the Institutions of Higher Education. Construction]. 1991, no. 11, pp. 102—105. (In Russian)

12. Medzveliya M.L., Pipiya V.V. Gidravlicheskoe soprotivlenie lotkov s sherokhovatym dnom [Hydraulic Resistance in Channels Having Rough Bottoms]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 9, pp. 95—100. (In Russian)

13. Straub L.G., Silberman E., Nelson H.C. Some Observations on Open Channel Flow at Small Reynolds Numbers. J. eng. mech. div ASCE. 1956, vol. 82, no. 3, pp. 1—28.

14. Al'tshul' A.D., Lyapin V.Yu., Al Heder B. O vliyanii formy secheniya rusla na gidrodinamicheskie kharakteristiki turbulentnykh potokov [On the Influence of the Shape of the Channel Section on Hydro-dynamic Characteristics of Turbulent Flows]. *Izvestiya vuzov. Energetika* [News of Institutions of Higher Education. Power Engineering]. 1992, no. 4, pp. 91—94. (In Russian)

15. Kruger F. Der Einfluss der Querschnittsform auf den Fliesswiderstand offener Rechteckgerinne. Wasserwirtschaft-Wassertechnik. 1989, Jg. 39, Nr. 1, S. 19—20.

16. Rabinovich E.Z. *Gidravlika* [Hydraulics]. 2nd edition. Moscow, Nedra Publ., 1977, 266 p. (In Russian)

About the authors: **Medzveliya Manana Levanovna** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Hydraulics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Manana_me@yahoo.com;

Borovkov Valeriy Stepanovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Hydraulics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (499) 261-39-12; mgsu-hydraulic@yandex.ru.

For citation: Medzveliya M.L., Borovkov V.S. Koeffitsient gidravlicheskogo treniya laminarnykh otkrytykh potokov v gladkikh ruslakh [The Coefficient of Hydraulic Friction of Laminar Open Flows in Smooth Channels]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 86—92. (In Russian)

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 625

А.М. Кириллов, М.А. Завьялов
ФГБОУ ВПО «СГУ»

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Показана возможность использования фазовой траектории процессов физического износа, ползучести и катастрофы «сборка» для определения критического момента времени, соответствующего началу катастрофического роста повреждений в системе. Получен альтернативный подход к описанию процессов физического износа и ползучести дорожного покрытия, заключающийся в сопоставлении кривой ползучести асфальтобетона, с кривой, соответствующей математической модели теории катастроф «сборка». Используемый синергетический подход дает возможность усовершенствования существующих и создания новых методов прогнозирования ресурса дорожных покрытий и оценки физического износа инженерно-технических сооружений.

Ключевые слова: физический износ, инженерно-техническая система, дорожное покрытие, синергетика, точка бифуркации, катастрофа «сборка».

В конструктивных элементах инженерно-технических систем с течением времени накапливаются дефекты и повреждения от влияния нагрузок и воздействия окружающей среды. Дефектами принято называть любые несоответствия нормативным документам, а повреждениями — любые нарушения сплошности структуры. Дефекты и повреждения приводят к снижению эксплуатационных свойств сооружений (несущей способности, водонепроницаемости, термостойкости и т.д.). События такого рода называют физическим износом. Другими словами, под физическим износом конструкций, технических систем, зданий и сооружений следует понимать потерю ими первоначальных, заданных и обеспеченных на всех стадиях строительства эксплуатационно-технических параметров (надежности, прочности, устойчивости) в результате воздействия техногенных и природно-климатических факторов при эксплуатации. Физический износ оценивается путем сравнения значений фактических эксплуатационно-технических характеристик и их расчетных (запроектированных) значений через признаки физического износа, выявленные в результате обследования.

Физический износ инженерно-технической системы можно представить как процесс эволюции нагружаемого материала под действием множества внешних и внутренних факторов, как процесс развития нелинейной динамической системы. При моделировании таких процессов задача поиска методов анализа решений соответствующих нелинейных уравнений динамики сплошных сред может решаться с помощью основополагающих идей синергетики.

© Кириллов А.М., Завьялов М.А., 2015

Математическая модель, описывающая физический износ, в этом случае должна содержать [1]: 1) нелинейные динамические уравнения механики сплошных сред; 2) эволюционные уравнения, которые необходимы для описания скоростей, например, пластической деформации, накопления повреждений и т.п.; 3) положительные и отрицательные обратные связи между параметрами.

Нелинейные уравнения могут иметь множество качественно различных решений, что физически означает возможность различных путей эволюции системы. Особенностью нелинейных динамических систем при переходе их в неравновесное состояние является наличие крупномасштабных корреляций, выражающихся в самосогласованном (когерентном) взаимодействии частиц. Поэтому неравновесность и наличие неустойчивостей должны также быть и особенностью системы уравнений, применяемых при моделировании эволюции твердого тела при внешних воздействиях.

В динамической системе траектории частиц в фазовом пространстве могут быть как регулярными (при отсутствии взаимодействия между частицами), так и стохастическими (отражающими взаимодействие между частицами). Системы без взаимодействия между элементами ее структуры называют интегрируемыми, а при наличии взаимодействия — неинтегрируемыми.

Изменение качественной картины разбиения фазового пространства в зависимости от изменения параметра (или нескольких параметров) изучает теория бифуркаций. Бифуркация — приобретение нового качества эволюции динамической системы при малом изменении ее параметров. Бифуркация соответствует перестройке характера движения или структуры реальной системы. С математической точки зрения бифуркация — это смена топологической структуры разбиения фазового пространства динамической системы на траектории при малом изменении ее параметров. При изменении управляющего параметра состояние равновесия становится неустойчивым, возникают бифуркации. Важной чертой бифуркационных процессов является то, что в момент времени, когда система находится вблизи точки бифуркации, большую роль играют малые возмущения значений ее параметров [2, 3]. Такие возмущения могут иметь чисто случайный характер (флуктуации, шум) или быть целенаправленными. От этих возмущений зависит по какой эволюционной ветви пойдет система, преодолев точку бифуркации. До точки бифуркации поведение системы детерминировано, в самой же точке бифуркации решающую роль играет случай.

В каждом конкретном случае, в связи с физическими особенностями рассматриваемой системы, необходимо определиться с переменными, которые будут являться для нее параметрами порядка. Параметры порядка — это те факторы, от которых может зависеть поведение системы в целом и отдельных ее частей. Параметры порядка играют одну из ключевых ролей в концепции самоорганизации [4—6]. С определением параметров порядка сложность задачи описания поведения системы значительно понижается, так как описание поведения системы посредством описания отдельных ее частей заменяется описанием поведения только параметров порядка («информационное сжатие» [2, 3]).

Следует отметить, что параметр порядка, влияя на протекающие в системе процессы, сам испытывает обратное влияние со стороны частей системы, которые, по словам Г. Хакена, «генерируют параметр порядка своим коллектив-

ным поведением» [2, 3]. Эта круговая причинная связь известна как «обратная связь». Обратной связью принято называть воздействие результатов какого-либо процесса на интенсивность его протекания в системе (самовоздействие, саморегулирование), которое может осуществляться как с помощью внешнего по отношению к системе канала связи, так и с помощью процессов, протекающих внутри системы. Если интенсивность процесса в системе возрастает, то обратная связь называется положительной, если уменьшается — отрицательной.

При нагружении твердого тела переход деформационного состояния от упругого к пластическому осуществляется по бифуркационному сценарию. Таким образом, изучение механического поведения нагружаемого материала как системы должно быть связано с теорией динамических систем (или нелинейной динамикой), позволяющей анализировать генеральную линию эволюции динамических систем независимо от их физической природы. Все обсужденные выше свойства, присущие динамическим системам и определяющие синергетические явления в них, должны быть учтены в соответствующей системе уравнений. Это, таким образом, касается и системы уравнений, моделирующей деформационные процессы (включая также процессы накопления повреждений и разрушение).

Принципиальным для эволюции самоорганизующихся систем — систем, демонстрирующих (по Г. Хакену) «самопроизвольное обретение пространственной, временной или функциональной неоднородности» [2], является наличие диссипативных процессов. Это, например, диффузия, теплопроводность, конвекция, вязкость и др., а также важные для динамики нагружаемого материала процессы пластичности, накопления повреждений и разрушения. Именно нелинейные диссипативные процессы обеспечивают нелинейные связи в системе и регулируют в среде развитие неустойчивостей или переход к устойчивому равновесному состоянию, в зависимости от внешнего конкурирующего воздействия.

Следует подчеркнуть, что процессы самоорганизации возможны только в открытых системах, обменивающихся веществом, энергией или информацией с окружающей средой. Такой энерго-информационный поток в открытой системе, т.е. внешнее воздействие, заставляет систему интенсивнее диссипировать подводимые возмущения и «являются связью в том смысле, что без него система эволюционировала бы к равновесию» [4]. Так, например, переход материала от упругого обратимого поведения к необратимому пластическому течению сопровождается резким увеличением диссипации (внутренний фактор), однако возникает такой переход вследствие локальной потери устойчивости под действием приложенных нагрузок (внешний фактор), т.е. в приведенном примере диссипация и приложенные напряжения и являются конкурирующими факторами. Конкурентная борьба идет между стабилизирующим воздействием диссипации (влекущего систему к равновесию и определяемого в деформируемом теле скоростью пластической деформации) и возмущающими дестабилизирующими факторами (провоцирующих на бифуркационное, хаотическое, неустойчивое поведение) — ростом напряжений в деформируемом материале и другими особенностями течения среды, продиктованными внешними воздействиями.

Для выполнения задачи моделирования в соответствующих уравнениях необходимо прописать положительные и отрицательные обратные связи, характеризующие конкуренцию в среде между стабилизирующим воздействием диссипативных процессов и стремлением системы к равновесному состоянию и дестабилизирующими факторами, приводящими к развитию неустойчивостей [7—11].

Таким образом, моделирование, описывающее эволюцию нагружаемой среды по синергетическим законам, должно опираться на систему нелинейных уравнений механики сплошных сред с учетом диссипации. Эволюционные уравнения в релаксационной форме должны учитывать конкурирующие процессы и наличие обратных связей.

Ведомственные строительные нормы ВСН 53—86 (р) для описания физического износа во времени различных (по функционалу, уровню сложности, протекающим физическим процессам и другим критериям) технических систем используют эмпирическую зависимость (рис. 1, *а*).

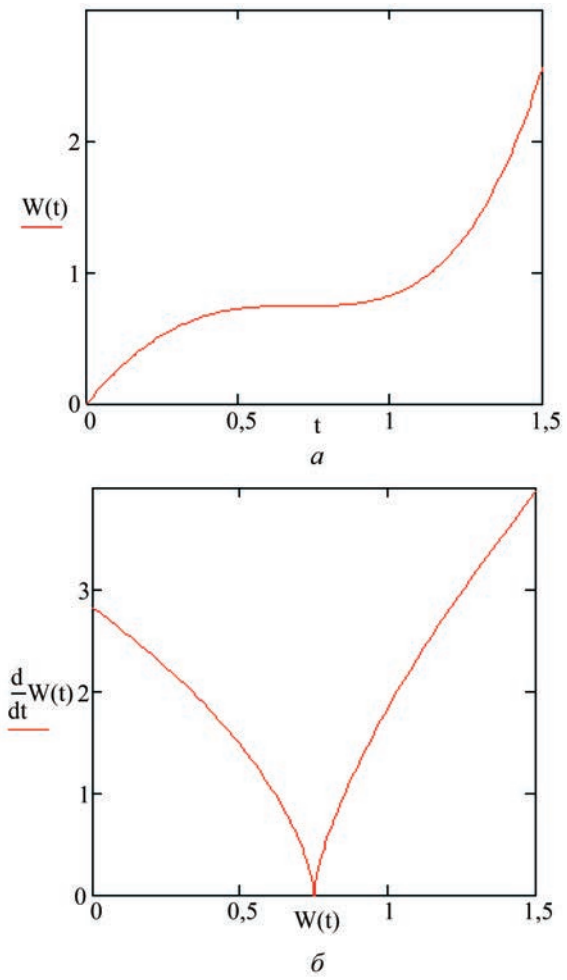


Рис. 1. Зависимость величины физического износа системы от времени эксплуатации (*а*) и фазовая траектория процесса износа, ползучести, катастрофы типа «сборка» (*б*). Время приведено в условных единицах

Такие теоретические кривые согласуются с наблюдениями организаций Москвы и Санкт-Петербурга, опубликованными в технической литературе[1], и которые показывают, что опытные кривые имеют в средней части замедленный рост и значительный временной интервал [12]. Следует отметить, что в начальной части зависимости физического износа от времени (см. рис. 1, *а*) велика роль отрицательной обратной связи (диссипативные процессы как стабилизирующие факторы), а в конечной части — доминируют дестабилизирующие факторы (накопление повреждений), проявляющие себя как положительная обратная связь. Подобного рода зависимости имеют место и в научной литературе [8, 13]. Например, работа [13] посвящена диагностике и прогнозированию разрушения многомасштабных объектов.

Фазовые траектории процессов физического износа, ползучести и катастрофы «сборка» имеют вид, представленный на рис. 1, *б*, из которого можно видеть, что на начальном этапе рассматриваемых процессов имеет место преобладание отрицательной обратной связи (с ростом величины скорость роста убывает), а затем начинает доминировать положительная обратная связь (рост величины приводит к увеличению скорости роста). Момент времени $t_к$ соответствует началу катастрофического роста повреждений в системе.

Автомобильные дороги также являются сложными инженерно-техническими сооружениями и упомянутые выше методики могут быть применимы для оценки их физического износа. Например, в [14—16] приведены кривые деформирования асфальтобетона при испытании в режиме ползучести до момента разрушения, которые являются типичными для многих материалов (например, металлов) [17]. Многие авторы, занимались и занимаются разработкой математических моделей ползучести [18], решая, в т.ч. задачу аппроксимации экспериментально полученных кривых ползучести.

Перспективным для моделирования эволюции асфальтобетонного дорожного покрытия также является привлечение синергетической концепции [8] и аппарата теории катастроф. Проведенный авторами работы [19] анализ и сопоставление характера энергетических изменений в асфальтобетонном покрытии при его эксплуатации и видов поверхностей теории катастроф, а также видов зависимостей синергетического потенциала [8], исходя из принципа «мягкого моделирования» [20], позволил установить тип катастрофы. В данном случае это катастрофа типа «сборка», которая соответствует, в частности условному потенциалу:

$$W(t) = ct^4 - bt^2 + at, \qquad (3)$$

где a, b и c — управляющие параметры, зависящие от технологии строительства, типа и марки асфальтобетона, а также условий эксплуатации.

В выражении (3) слагаемое, содержащее t^2, связано с «линейным поведением» системы. Отрицательный коэффициент b перед t^2 определяет отрицательную обратную связь и отражает положительную роль внешних воздействий (например, уплотнение дорожного полотна под действием механической нагрузки со стороны транспорта) и внутренних процессов в асфальтобетоне (упорядочивание структуры). В выражении (3) слагаемое, содержащее t^4, свя-

[1] ВСН 53—86 (р). Правила оценки физического износа жилых зданий. М. : Госграждан-строй СССР, Прейскурантиздат, 1988.

зано с «нелинейным поведением» системы. Положительный коэффициент c перед t^4 определяет положительную обратную связь и отражает отрицательную роль внешних воздействий (например, усталостное растрескивание дорожного покрытия под действием механической нагрузки со стороны транспорта) и внутренних процессов в асфальтобетоне (старение асфальтобетона).

Если сравнить график зависимости (рис. 2), соответствующей математической модели катастрофы «сборка», с кривой ползучести асфальтобетона, то можно предположить, что использование этого типа катастрофы может быть перспективным для описания поведения кривой ползучести и, возможно, для выяснения смысла управляющих параметров a и b.

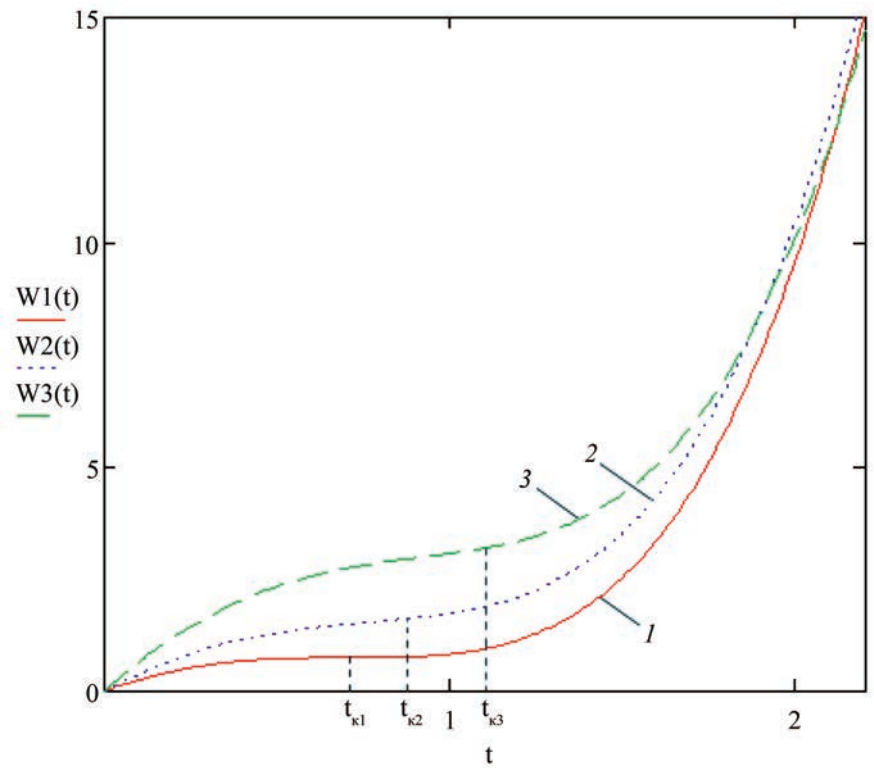


Рис. 2. Аппроксимация кривой ползучести асфальтобетона кривой, соответствующей математической модели теории катастроф «сборка»: $b_3 > b_2 > b_1 \Rightarrow t_{к3} > t_{к2} > t_{к1}$. Время приведено в условных единицах, так как реальные значения зависят от конкретной инженерно-технической системы

О влиянии управляющих параметров a и b на поведение кривых на рис. 2 можно сказать следующее:

1. Параметр b в зависимости, представленной выражением (3), определяет положение точки перегиба. Для асфальтобетонного покрытия этот период интерпретируется как основной период эксплуатации, на котором свойства изменяются незначительно. Увеличивая b можно «оттянуть» момент наступления катастрофического участка (катастрофический рост накопления повреждений). Это продемонстрировано на рис. 2, на котором видно, что увеличение b приводит к увеличению $t_к$.

2. Управляющий параметр *a* определяет начальный этап развития системы. Чем больше *a*, тем быстрее идет процесс накопления дефектов на начальном этапе эволюции системы (на рис. 2 $a_3 > a_2 > a_1$).

3. Участок катастрофического роста повреждений малочувствителен к значениям параметров *a* и *b* (его наступление только можно отсрочить, увеличивая *b*), и здесь совершенно неважна «предыстория» покрытия: для всех покрытий динамика будет одинаковой, определяемой первым слагаемым выражения (3) (см. рис. 2).

Выводы. 1. Сравнение кривых физического износа сооружений и ползучести для асфальтобетона говорит об общности происходящих в этих системах процессах и при их описании можно пользоваться одинаковыми математическими и физическими моделями. Например, при описании физического износа используется логистическая эволюционная модель, которую, исходя из вышесказанного, можно применить и при описании процессов ползучести, старения (износа) асфальтобетонных дорожных покрытий.

2. Начиная с некоторого момента, процессы физического износа и ползучести начинают носить катастрофический характер (скорость накопления дефектов и необратимых изменений резко возрастает), что, в конце концов, приводит к разрушению системы. Аппарат теории катастроф позволяет в этом случае найти альтернативный и общий подход к описанию этих процессов. Например, сопоставление кривой ползучести асфальтобетона с кривой, соответствующей математической модели теории катастроф «сборка», служит аргументом в пользу перспективности такого подхода.

3. Проведенный анализ позволяет сделать заключение о возможности усовершенствования существующих и создания новых методов прогнозирования ресурса дорожных покрытий и оценки физического износа любых инженерно-технических сооружений.

Библиографический список

1. *Макаров П.В.* Нагружаемый материал как нелинейная динамическая система. Проблемы моделирования // Физическая мезомеханика. 2005. Т. 8. № 6. С. 39—56.

2. *Хакен Г.* Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам / пер. с англ. М. : Мир, 1991. 240 с.

3. *Хакен Г.* Синергетика: иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М. : Мир, 1985. 419 с.

4. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / пер. с англ. А.Ю. Данилова ; под общ. ред. и послесл. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича, Ю.В. Сачков. М. : Прогресс, 1986. 431 с.

5. *Nicolis G., Prigogine I.* Self-organization in nonequilibrium systems. New York : Wiley, 1977. 504 p.

6. *Corning P.A.* Synergy and self-organization in the evolution of complex systems // Systems Research. 1995. Vol. 12. No. 2. Pp. 89—121.

7. *Стратонович Р.Л.* Нелинейная неравновесная термодинамика. М. : Наука, 1985. 480 с.

8. *Олемской А.И., Коплык И.В.* Теория пространственно-временной эволюции неравновесной термодинамической системы // Успехи физических наук. 1995. Т. 165. № 10. С. 1105—1144.

9. *Zubarev D.N., Morozov V.G., Röpke G.* Statistical mechanics of nonequilibrium processes. Vol. 1: Basic Concepts, Kinetic Theory. Berlin : Akademie Verlag, 1996. 376 p.

10. *De Groot S.R., Mazur P.* Non-equilibrium thermodynamics. Courier Corporation, 2013. 510 p.

11. *Lebon G., Jou D., Casas-Vázquez J.* Understanding non-equilibrium thermodynamics. Berlin : Springer, 2008. 196 p.

12. *Травин В.И.* Капремонт и реконструкция жилых и общественных зданий. Ростов-н/Д. : Феникс, 2004. 251 с.

13. *Куксенко В.С.* Диагностика и прогнозирование разрушения крупномасштабных объектов // Физика твердого тела. 2005. Т. 47. Вып. 5. С. 788—792.

14. *Кирюхин Г.Н.* Термофлуктуационная и фрактальная модель долговечности асфальтобетона // Дороги и мосты. 2014. Т. 1. № 31. С. 247—268.

15. *Uzan J.* Viscoelastic-viscoplastic model with damage for asphalt concrete // Journal of materials in civil engineering. 2005. Vol. 17. No. 5. Pp. 528—534.

16. *Gibson N.H., Schwartz C.W., Schapery R.A., Witczak M.W.* Viscoelastic, viscoplastic, and damage modeling of asphalt concrete in unconfined compression // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2003. Vol. 1860. No. 1. Pp. 3—15.

17. *Радченко В.П., Саушкин М.Н.* Ползучесть и релаксация остаточных напряжений в упрочненных конструкциях. М. : Машиностроение-1, 2005. 226 с.

18. *Дубровин В.М., Бутина Т.А.* Моделирование процесса ползучести конструкционных материалов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 9 (21). Режим доступа: http://engjournal.ru/catalog/mathmodel/material/960.html. Дата обращения: 15.03.2015.

19. *Завьялов М.А., Завьялов А.М.* Постстроительный период жизненного цикла дорожного асфальтобетонного покрытия: синергетические тенденции свойств материала // Строительные материалы. 2011. № 10. С. 34—35.

20. *Арнольд В.И.* «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М. : Изд-во МЦНМО, 2004. 32 с.

Поступила в редакцию в марте 2015 г.

Об авторах: **Кириллов Андрей Михайлович** — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры организации сервиса и безопасности на транспорте, **Сочинский государственный университет (ФГБОУ ВПО «СГУ»)**, 354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, д. 26а, kirill806@gmail.com;

Завьялов Михаил Александрович — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры организации сервиса и безопасности на транспорте, **Сочинский государственный университет (ФГБОУ ВПО «СГУ»)**, 354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, д. 26а, zavyalov.m.a@gmail.com.

Для цитирования: *Кириллов А.М., Завьялов М.А.* Синергетический подход к моделированию физического износа инженерно-технических систем // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 93—102.

A.M. Kirillov, M.A. Zav'yalov

SYNERGETIC APPROACH TO SIMULATION OF PHYSICAL WEAR OF ENGINEERING TECHNICAL SYSTEMS

In course of time in structural elements of engineering technical systems defects and damages are accumulated, which is caused by loadings and environmental influence. The defects are any inconsistencies with normative documents, and damages are

discontinuances of structure. The defects and damages lead to decrease of operational properties of structures (their bearing capacity, waterproofing, thermal resistance, etc. The occurrences of such character are called physical wear.

In the article the authors show the possibility of phase trajectory use of the processes of physical wear, creep and cusp catastrophe for determinating the critical time-point, corresponding to the beginning of the system damage catastrophic growth. The alternative approach to the description of the processes of physical wear and creep of pavement consisting in comparison of asphalt concrete creep curve and the curve of the mathematical model of cusp catastrophe, is received. The applied synergetic approach gives us the chance to improve the existing and create new methods of pavement resource forecasting and assessment of physical wear of any technical constructions.

Key words: physical wear, engineering technical system, road pavement, synergetrics, bifurcation point, cusp catastrophe.

References

1. Makarov P.V. Nagruzhaemyy material kak nelineynaya dinamicheskaya sistema. Problemy modelirovaniya [The Loaded Material as Nonlinear Dynamic System. Modeling Problems]. *Fizicheskaya mezomekhanika* [Physical Mesomechanics]. 2005, vol. 8, no. 6, pp. 39—56. (In Russian)

2. Haken H. Information and Self-Organization: A Macroscopic Approach to Complex Systems (Springer Series in Synergetics). Springer, Softcover reprint of hardcover 3rd ed., 2006, 258 p.

3. Haken H. Advanced Synergetics. Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1983, 356 p. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-45553-7.

4. Prigogine I., Stengers I. Order out of Chaos. Man's New Dialogue with Nature. Bantam New Age Books; First Edition edition, 1986, 349 p.

5. Nicolis G., Prigogine I. Self-Organization in Nonequilibrium Systems. New York, Wiley, 1977, 504 p.

6. Corning P.A. Synergy and Self-Organization in the Evolution of Complex Systems. Systems Research. 1995, vol. 12, no. 2, pp. 89—121. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/sres.3850120204.

7. Stratonovich R.L. *Nelineynaya neravnovesnaya termodinamika* [Nonlinear Nonequilibrium Thermodynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 480 p. (In Russian)

8. Olemskoy A.I., Koplyk I.V. Teoriya prostranstvenno-vremennoy evolyutsii neravnovesnoy termodinamicheskoy sistemy [Theory of Existential Evolution of Nonequilibrium Thermodynamic System]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)]. 1995, vol. 165, no. 10, pp. 1105—1144. (In Russian)

9. Zubarev D.N., Morozov V.G., Röpke G. Statistical Mechanics of Nonequilibrium Processes. Vol. 1: Basic Concepts, Kinetic Theory. Berlin, Akademie Verlag, 1996, 376 p.

10. De Groot S.R., Mazur P. Non-Equilibrium Thermodynamics. Courier Corporation, 2013, 510 p.

11. Lebon G., Jou D., Casas-Vázquez J. Understanding Non-Equilibrium Thermodynamics. Berlin, Springer, 2008, 196 p.

12. Travin V.I. *Kapremont i rekonstruktsiya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Overhaul and Reconstruction of Residential and Public Buildings]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2004, 251 p. (In Russian)

13. Kuksenko V.S. Diagnostika i prognozirovanie razrusheniya krupnomasshtabnykh ob"ektov [Diagnostics and Forecasting of the Destruction of Multilarge-Scale Objects]. *Fizika tverdogo tela* [Physics of the Solid State]. 2005, vol. 47, no. 5, pp. 788—792. (In Russian)

14. Kiryukhin G.N. Termofluktuatsionnaya i fraktal'naya model' dolgovechnosti asfal'tobetona [Thermofluctuation and Fractal Model of Asphalt Concrete Durability]. *Dorogi i mosty* [Roads and Bridges]. 2014, vol. 1, no. 31, pp. 247—268. (In Russian)

15. Uzan J. Viscoelastic-viscoplastic Model with Damage for Asphalt Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. 2005, vol. 17, no. 5, pp. 528—534. DOI: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:5(528).

16. Gibson N.H., Schwartz C.W., Schapery R.A., Witczak M.W. Viscoelastic, Viscoplastic, and Damage Modeling of Asphalt Concrete in Unconfined Compression. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2003, vol. 1860, no. 1, pp. 3—15. DOI: http://dx.doi.org/10.3141/1860-01.

17. Radchenko V.P., Saushkin M.N. *Polzuchest' i relaksatsiya ostatochnykh napryazheniy v uprochnennykh konstruktsiyakh* [Creep and Relaxation of Residual Tension in the Strengthened Designs]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2005, 226 p. (In Russian)

18. Dubrovin V.M., Butina T.A. Modelirovanie protsessa polzuchesti konstruktsionnykh materialov [Modeling of Creep Process of Constructional Materials]. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2013, no. 9 (21). Available at: http://engjournal.ru/catalog/mathmodel/material/960.html. Date of access: 15.03.2015. (In Russian)

19. Zav'yalov M.A., Zav'yalov A.M. Poststroitel'nyy period zhiznennogo tsikla dorozhnogo asfal'tobetonnogo pokrytiya: sinergeticheskie tendentsii svoystv materiala [Post-Construction Period of the Life Cycle of Road Asphalt Concrete Pavement: Synergetic Tendencies of Material Properties]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2011, no. 10, pp. 34—35. (In Russian)

20. Arnol'd V.I. *«Zhestkie» i «myagkie» matematicheskie modeli* ["Rigid" and "Soft" Mathematical Models]. Moscow, MTsNMO Publ., 2004, 32 p. (In Russian)

About the authors: **Kirillov Andrey Mikhaylovich** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Service and Safety Organization on Transport, **Sochi State University (SSU)**, 26a, Sovetskaya str., Krasnodar Krai, Sochi, 354000, Russian Federation; kirill806@gmail.com;

Zav'yalov Mikhail Aleksandrovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Service and Safety Organization on Transport, **Sochi State University (SSU)**, 26a, Sovetskaya str., Krasnodar Krai, Sochi, 354000, Russian Federation; zavyalov.m.a@gmail.com.

For citation: Kirillov A.M., Zav'yalov M.A. Sinergeticheskiy podkhod k modelirovaniyu fizicheskogo iznosa inzhenerno-tekhnicheskikh sistem [Synergetic Approach to Simulation of Physical Wear of Engineering Technical Systems]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 93—102. (In Russian)

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 725.42

Р.Ю. Левин, В.А. Масленников
ФГБОУ ВО «ИВГПУ»

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РАЗМЕЩЕНИЯ ТОПЛИВОРАЗДАТОЧНЫХ КОЛОНОК НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЦИКЛА ЗАПРАВКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Изучено и показано влияние планировочных решений автозаправочной станции на составляющие времени цикла заправки автомобилей. Конечной целью исследования процесса заправки являлось количественное обоснование оптимальной схемы размещения топливораздаточных колонок на территории станции.

Ключевые слова: топливораздаточные колонки, планировочные решения, хронометражные наблюдения, способ размещения, заправки автомобилей.

При проектировании автозаправочной станции (АЗС) возникает необходимость обоснования целесообразности намечаемого строительства, выбора наиболее выгодного варианта проектного решения и определение его технико-экономического уровня [1—7]. В процессе реализации данной задачи в числе прочих решают вопрос о выборе оптимального способа размещения топливораздаточных колонок (ТРК) в заправочной зоне, что позволит сократить затраты времени обслуживания клиентов, увеличить пропускную способность (мощность) и прибыль станции.

Как показывает анализ литературных источников, проблема выбора рационального способа размещения ТРК на АЗС, несмотря на свою актуальность, остается малоизученной [8—17]. В этой связи целью данной работы являлось экспериментальное изучение закономерностей изменения составляющих времени цикла заправки автомобилей топливом в зависимости от числа и способа размещения ТРК на заправочной площадке.

При этом способ размещения (рис. 1) характеризовался углом установки ТРК относительно направления потока автомобилей, заезжающих на АЗС.

На исследуемых схемах ТРК в заправочной зоне АЗС относительно въезда расположены:

а) в линию под углом $\beta = 90°$ к направлению потока автотранспорта («перпендикулярные»: схемы № 1 и 2);

б) в линию под углом $\beta = 0°$ к направлению потока автотранспорта («параллельные»: схемы № 3 и 4).

В процессе исследования путем хронометражных наблюдений определяли следующие составляющие времени цикла заправки: $t_{под}$ — время, необходимое для подъезда транспортного средства к ТРК; $t_{вых}$ — время на выход водителя из автомобиля и подход к ТРК; $t_{урк}$ — время на открытие крышки топливного бака автомобиля и установку раздаточного крана в его горловину; $t_{пер}$ —

© Левин Р.Ю., Масленников В.А., 2015

время, затрачиваемое на переход водителя к операторной для оплаты топлива; $t_{опл}$ — время на оплату топлива с учетом времени простоя в очереди; $t_{воз}$ — время обратного перехода от операторской до ТРК; $t_{отт}$ — время на отпуск топлива (зависит от дозы и производительности насоса); $t_{врк}$ — время заключительных операций (извлечение раздаточного крана из горловины бензобака и установка его на ТРК, закрытие крышки бака, посадка в автомобиль); $t_{от}$ — время на отъезд автомобиля от ТРК на безопасное расстояние.

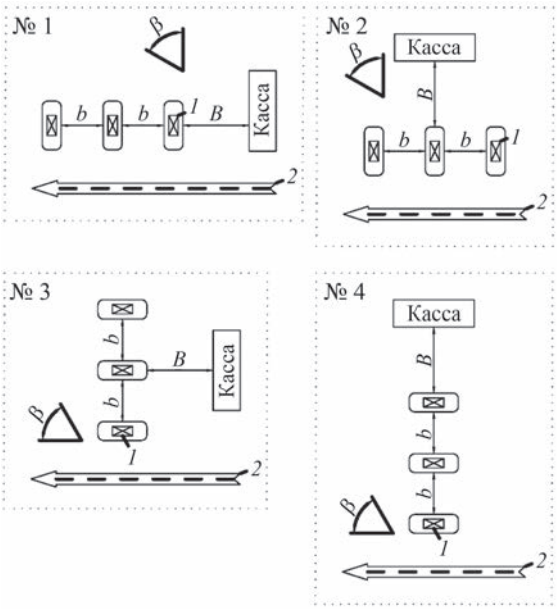


Рис. 1. Схемы размещения ТРК на АЗС: *1* — ТРК; *2* — направление потока автомобилей; β — угол между линией размещения колонок и направлением потока автомобилей

Для определения результатов хронометража с заданной надежностью (H = 0,95) с использованием стандартных процедур проводилось определение числа повторностей (опытов) [18—19]. Результаты исследований приведены в табл.

Средние затраты времени на заправку одного автомобиля при различных способах размещения ТРК

Номер схемы размещения ТРК	β, °С	B, м	b, м	Длительность операции, с									
				$t_{под}$	$t_{вых}$	$t_{урк}$	$t_{пер}$	$t_{опл}$	$t_{воз}$	$t_{отт}$	$t_{врк}$	$t_{от}$	$t_{обсл}$
1	90	12	7	16,6	17,1	13,0	18,8	57,2	18,5	40,2	18,1	47,8	247,3
2	90	15	7	17,0	16,7	13,5	20,1	61,7	20,0	47,4	15,3	49,1	260,8
3	0	12	6	9,9	16,3	14,4	17,1	59,6	16,5	45,9	18,7	29,3	227,7
4	0	9	6	10,0	18,0	12,3	14,9	62,2	16,1	41,3	15,7	27,4	217,9

Для упрощения последующего анализа и выявления рационального способа размещения ТРК отдельные составляющие времени цикла заправки были объединены в комплексы:

время на маневрирование (подъезд и отъезд автомобиля)

$$\Delta t_{м} = t_{под} + t_{от}; \quad (1)$$

время на подготовку автомобиля к заправке топливом

$$\Delta t_{п} = t_{урк} + t_{врк}; \quad (2)$$

время на выполнение расчетно-кассовых операций

$$\Delta t_{рко} = t_{вых} + t_{пер} + t_{опл} + t_{воз}; \quad (3)$$

полное время обслуживания автомобиля на АЗС

$$\Delta t_{обсл} = t_{под} + t_{вых} + t_{урк} + t_{пер} + t_{опл} + t_{воз} + t_{отт} + t_{врк} + t_{от}. \quad (4)$$

Такое объединение позволяет разделить составляющие времени на зависящие и независящие от способа размещения ТРК на АЗС. Результаты объединения затрат времени в комплексы приведены на рис. 2.

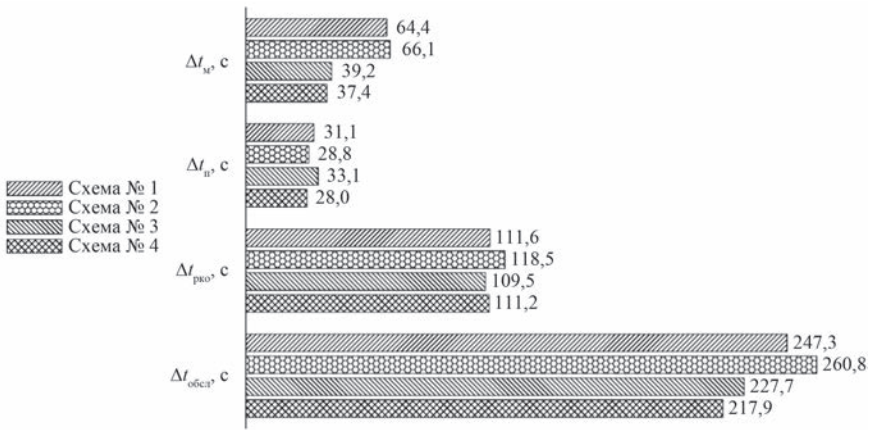


Рис. 2. Соотношение средних затрат времени цикла заправки от способа размещения ТРК

При расположении колонок по схемам № 1 и 2 автомобилю для подъезда к ТРК и отъезда от нее необходимо совершать повороты на угол более 90°, что приводит к увеличению длины пробега и времени пребывания на территории АЗС. Среднее время на маневрирование автомобиля находится в пределах 1,07…1,11 мин (64,4…66,1 с).

Схемы № 3 и 4 обеспечивают подъезд к ТРК без выполнения маневрирования, что приводит к уменьшению длины пробега автомобиля. В результате этого общее время, затрачиваемое автомобилем на процесс заправки, снижается. Среднее время на маневрирование автомобиля в данном случае находится в пределах 0,62…0,65 мин (37,4…39,2 с).

Таким образом, при расстановке ТРК по схемам № 3 и 4 происходит сокращение потерь времени на маневрирование автомобиля $\Delta t_{м}$ относительно схем № 1 и 2 на 0,45…0,46 мин (26,9…27,0 с).

По данным исследований затраты времени на подготовку автомобиля к заправке $\Delta t_{п}$ не зависят от способа размещения технологического оборудования на АЗС и находятся в пределах 0,47…0,55 мин (28,0…33,1 с). Значения этих затрат времени и их незначительное рассеивание обусловлены психофизиологическими возможностями и особенностями темперамента отдельных водителей [20].

Время на осуществление рассчетно-кассовых операций во многом зависит от наличия очереди водителей в кассу, размер которой, в свою очередь, определяется количеством одновременно обслуживающихся автомобилей. Это позволило сделать вывод о том, что схема размещения ТРК не влияет на показатель $t_{опл}$.

На время рассчетно-кассовых операций влияет, кроме очереди водителей в кассу, также среднее расстояние перехода от ТРК до кассы и обратно. Исследования показали, что наименьшие затраты времени $\Delta t_{рко}$ — 1,83…1,85 мин (109,5…111,2 с) при схемах № 3 и 4.

Таким образом, общее время на заправку автомобилей оказывается наименьшим при размещении ТРК по схемам № 3 и 4 и составляет соответственно 3,79 (227,7 с) и 3,63 мин (217,9 с). Для выбора из них оптимального варианта были проведены дополнительные хронометражные исследования в периоды, когда наблюдается полная загрузка ТРК (часы пик), поскольку именно в эти периоды в полной мере проявляются все преимущества планировочного решения.

Исследования показали, что при полной загрузке АЗС при размещении ТРК по схеме № 3 очередь автомобилей на заправку увеличивается из-за сложности подъезда к освободившимся колонкам, расположенным дальше от места въезда транспортных средств. Напротив, размещения ТРК по схеме № 4 даже в этом случае обеспечивает беспрепятственный подъезд автомобилей к любой из заправочных позиций.

Таким образом, если в качестве критерия оптимальности способа размещения ТРК на АЗС принять продолжительность заправки автомобилей, наиболее приемлемой является схема № 4.

Библиографический список

1. Пат. № 2515003 РФ, МПК B60S5/02. Способ заправки топливом транспортного средства клиента на автозаправочной станции и автозаправочная станция / М.А. Камышев, В.А. Марченко, С.А. Глазырин, И.М. Алексеев. Заявка 2012142072/11; заявл. 02.10.2012. опубл. 10.05.2014. Бюл. № 13. 12 с.

2. *Масуев М.А.* Проектирование предприятий автомобильного транспорта. М. : Академия, 2007. 224 с.

3. *Кочуров Е.В., Ковалев Р.Н.* Автоматические автозаправочные станции как альтернатива снижению затрат на размещение стационарных автозаправочных станций в городе // Автотранспортное предприятие. 2013. № 2. С. 42—43.

4. *Бойцов М.С., Бойко С.В., Каравайков В.М.* Информационная поддержка принятия решения при управлении энергоэффективностью предприятия // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2011. Т. 17. № 1. С. 227—230.

5. *Усуфов М.М.О.* Перспективы развития автосервиса // Технико-технологические проблемы сервиса. 2012. Т. 1. № 19. С. 72—77.

6. *Корчагин В.А., Хабибуллин Р.Г., Макарова И.В.* Перспективные направления развития системы фирменного сервиса автомобильной техники // Фундаментальные исследования. 2013. № 4-4. С. 806—811.

7. *Яскевич А.Е.* Анализ факторов влияния на стоимость автомобильной заправочной станции // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2010. № 2 (101). С. 55—70.

8. *Мякинин А.С., Косицина Э.С., Ганжа О.А.* Автозаправочные станции, расположенные на городских территориях, как объект экологической опасности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 18. С. 149—152.

9. *Сергиенко О.И., Елистратова А.П.* Наилучшие доступные технологии и оценка воздействия на окружающую среду автозаправочных станций на стадии проектирования // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2014. № 2. Режим доступа: http://economics.ihbt.ifmo.ru/file/article/11114.pdf. Дата обращения:10.04.2015.

10. *Корнаков А.Н., Цветков В.Я.* Поддержка принятия решений при управлении промышленным предприятием // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 1. С. 94—95.

11. *Кошкарев С.А., Соколова Е.В.* Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействия АЗС на атмосферу городских комплексов // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. № 3 (36). С. 102—107.

12. *Королева Е.Б., Жигилей О.Н., Кряжев А.М., Сергиенко О.И., Сокорнова Т.В.* Наилучшие доступные технологии: опыт и перспективы. СПб. : ООО «Ай-Пи», 2011. 123 с.

13. Пат. № 2399523 РФ, МПК B60S5/02 Способ работы автозаправочной станции и автозаправочная станция / А.Т. Руотсалайнен, О.М. Шалимов, В.Ф. Савельев, О.А. Жукова ; патентообладатель ООО «Несте Санкт-Петербург». Заявка № 2008102368/11; заявл. 25.01.2008; опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26. 9 с.

14. *Маяков А.* Заправляйся удобно! // Современная АЗС : электронный журнал. 2012. № 10 (127). Режим доступа: http://www.sovazs.com/showarticle.phtml?id=1880. Дата обращения:13.04.2015.

15. *Безродный А.А.* Повышение эффективности управления сетями автозаправочных станций // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.Технические науки. 2010. № 2 (14). С. 41—51.

16. *Белов Ю.Ф., Иващенко В.А.* Автоматизация контроля и учета нефтепродуктов на автозаправочных станциях на основе scada-системы // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. Т. 3. № 1 (46). С. 82—89.

17. *Абрамович Д.Б., Резепов Д.Ф.* Рынок нефтепродуктов как часть хозяйственной системы общества // ФӘН-Наука. 2012. Т. 1. № 11 (14). С. 5—7.

18. *Кокодеева Н.Е.* Теории риска в вопросах размещения автозаправочных станций // Науковедение: интернет-журнал. 2013. № 1 (14). С. 1—8. Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/26tvn113.pdf. Дата обращения:13.04.2015.

19. *Шайтар В.* Какой должна быть АЗС? // Мастерская. Современное строительство: электронный журнал. Режим доступа: http://masterskaya.by/articles/19/kakoy-doljna-byt-azs/. Дата обращения:14.04.2015.

20. *Кочетков А.В., Ермолаева В.В., Ермолаев Б.В., Мырзахметов Б.А.* Новые инструментальные средства изыскания и проектирования объектов транспортного строительства // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 1 (44). С. 189—194.

Поступила в редакцию в апреле 2015 г.

Об авторах: **Левин Руслан Юрьевич** — аспирант, инженер кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, **Ивановский государственный политехнический университет (ФГБОУ ВО «ИВГПУ»)**, 153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, д. 20, 8 (4932) 32-51-83, ruslan.levin@mail.ru;

Масленников Валерий Александрович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобилей и автомобильного хозяйства, **Ивановский государственный политехнический университет (ФГБОУ ВО «ИВГПУ»)**, 153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, д. 20, 8 (4932) 32-51-83, k_aah37@mail.ru.

Для цитирования: *Левин Р.Ю., Масленников В.А.* Влияние способа размещения топливораздаточных колонок на продолжительность цикла заправки автомобилей // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 103—110.

R.Yu. Levin, V.A. Maslennikov

THE INFLUENCE OF THE PLACEMENT METHOD OF FUEL DISPENSERS ON THE REFUELING CYCLE OF VEHICLES

Logistics of production processes at a gas station is a critical point in the system of petroleum products, on the operation of which the effectiveness and sustainability of the transport sector depends. The provision and supply of road transportation of petroleum products is one of the most urgent tasks.

Technological processes of reception, storage of fuel and refuelling of motor vehicles on petrol stations needs a scientific study of their structure and organization. At the design stage of a gas station, it is necessary to consider quite a lot of different factors: the configuration of the area under the gas station, the scheme of arrangement and the number of fuel dispensers, the trajectory of motion and the design of vehicles, calls to the station, distance between cars on duty, between the elements of buildings and equipment, as well as the requirements for fire, building, public, sanitary-epidemiological and state regulations. Therefore, the designer has a great opportunity for varying the parameters of the elements of the station, especially when considering the characteristics of the fueled vehicles.

Typical projects at a same power station include various sizes, the seizure of land to build a station changes from planning decisions and the locations of all its technological elements. For increase of functioning efficiency of transportation systems of petroleum products in modern conditions on the basis of the design and technical innovations it is necessary to conduct special studies.

Research planning decisions for a refueling station led to the conclusion that the placement of technological equipment in the refueling area has a certain impact on the length of vehicles service. Improving the layout of the refueling zone several times reduces the loss of the components of the refueling cycle time and increase the capacity of the station.

Information base describing the stages of a gas station includes parts of refueling cycle time and allows choosing the optimal variant of fuel dispensers at the fueling area. The rational layout of columns can reduce the time of customer service and increase the capacity of the object.

Key words: fuel-dispensing units, planning decisions, timing of observation, placing method, petrol stations.

References

1. Kamyshev M.A., Marchenko V.A., Glazyrin S.A., Alekseev I.M. *Patent № 2515003 RF, MPK B60S5/02. Sposob zapravki toplivom transportnogo sredstva klienta na avtozapravochnoy stantsii i avtozapravochnaya stantsiya* [Russian Patent no. 2515003 RF, MPK B60S5/02. Method of Fueling the Vehicle of a Customer at a Petrol Station and a Gas Station]. Zayavka 2012142072/11; zayavl. 02.10.2012. opubl. 10.05.2014. Byul. № 13 [Notice 2012142072/11; appl. 02.10.2012. Publ. 10.05.2014]. 12 p. (In Russian)

2. Masuev M.A. *Proektirovanie predpriyatiy avtomobil'nogo transporta* [Designing of Road Transport Enterprises]. Moscow, Akademiya Publ., 2007, 224 p. (In Russian)

3. Kochurov E.V., Kovalev R.N. Avtomaticheskie avtozapravochnye stantsii kak al'ternativa snizheniyu zatrat na razmeshchenie statsionarnykh avtozapravochnykh stantsiy v gorode [Automatic Gas Stations as an Alternative to Reduce the Cost of Stationary Gas Stations Placement in the City]. *Avtotransportnoe predpriyatie* [Automobile Enterprise]. 2013, no. 2, pp. 42—43. (In Russian)

4. Boytsov M.S., Boyko S.V., Karavaykov V.M. Informatsionnaya podderzhka prinyatiya resheniya pri upravlenii energoeffektivnost'yu predpriyatiya [Information Support of Decision-Making in the Management of Enterprise Energy Efficiency]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova* [Herald of the Kostroma State University Named after N.A. Nekrasov]. 2011, vol. 17, no. 1, pp. 227—230. (In Russian)

5. Usufov M.M.O. Perspektivy razvitiya avtoservisa [Development Prospects of Car Service]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa* [Technical and Technological Problems of Service]. 2012, vol. 1, no. 19, pp. 72—77. (In Russian)

6. Korchagin V.A., Khabibullin R.G., Makarova I.V. Perspektivnye napravleniya razvitiya sistemy firmennogo servisa avtomobil'noy tekhniki [Perspective Development Directions of a System of Firm Service of Car Equipment]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Investigations]. 2013, no. 4—4, pp. 806—811. (In Russian)

7. Yaskevich A.E. Analiz faktorov vliyaniya na stoimost' avtomobil'noy zapravochnoy stantsii [Analysis of the Factors Influencing the Cost of Petrol Station]. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiyskoy Federatsii* [Property Relations in the Russian Federation]. 2010, no. 2 (101), pp. 55—70. (In Russian)

8. Myakinin A.S., Kositsina E.S., Ganzha O.A. Avtozapravochnye stantsii, raspolozhennye na gorodskikh territoriyakh, kak ob"ekt ekologicheskoy opasnosti [Petrol Stations Located in Urban Areas as an Object of Environmental Hazard]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2010, no. 18, pp. 149—152. (In Russian)

9. Sergienko O.I., Elistratova A.P. Nailuchshie dostupnye tekhnologii i otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu avtozapravochnykh stantsiy na stadii proektirovaniya [Best Available Technologies and Assessment of the Environmental Impact of Petrol Stations at the Design Stage]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment* [Scientific Journal of the National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. Series: Economy and Ecological Management]. 2014, no. 2. Available at: http://economics.ihbt.ifmo.ru/file/article/11114.pdf. Date of access:10.04.2015. (In Russian)

10. Kornakov A.N., Tsvetkov V.Ya. Podderzhka prinyatiya resheniy pri upravlenii promyshlennym predpriyatiem [Support of Decision-Making in the Management of Industrial Enterprise]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern High Technologies]. 2010, no. 1, pp. 94—95. (In Russian)

11. Koshkarev S.A., Sokolova E.V. Obosnovanie meropriyatiy po snizheniyu urovnya vozdeystviya AZS na atmosferu gorodskikh kompleksov [Justification of the Measures to Reduce the Level of Gas Station Effect on the Atmosphere of Urban Complexes]. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta* [Bulletin of the North Caucasus Federal University]. 2013, no. 3 (36), pp. 102—107. (In Russian)

12. Koroleva E.B., Zhigiley O.N., Kryazhev A.M., Sergienko O.I., Sokornova T.V. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii: opyt i perspektivy* [The Best Available Techniques: Experience and Prospects]. Saint Petersburg, OOO «Ay-Pi» Publ., 2011, 123 p. (In Russian)

13. Ruotsalaynen A.T., Shalimov O.M., Savel'ev V.F., Zhukova O.A. *Patent № 2399523 RF, MPK B60S5/02. Sposob raboty avtozapravochnoy stantsii i avtozapravochnaya stantsiya* [Russian Patent no. 2399523 RF, MPK B60S5/02. Method of a Gas Station Operation and a Petrol Station]. Zayavka № 2008102368/11; zayavl. 25.01.2008; opubl. 20.09.2010. Byul. № 26 [Notice no. 2008102368/11; appl. 25.01.2008; publ. 20.09.2010. Bulletin no. 26]. Patent Holder OOO «Neste Sankt-Peterburg». 9 p. (In Russian)

14. Mayakov A. Zapravlyaysya udobno! [Refuel Conveniently!]. *Sovremennaya AZS : elektronnyy zhurnal* [Modern Patrol Station. Electronic Journal]. 2012, no. 10 (127). Available at: http://www.sovazs.com/showarticle.phtml?id=1880. Date of access:13.04.2015. (In Russian)

15. Bezrodnyy A.A. Povyshenie effektivnosti upravleniya setyami avtozapravochnykh stantsiy [Raising the Management Efficiency of Petrol Station Chains]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [News of Higher Educational Institutions. Volga Region. Technical Sciences]. 2010, no. 2 (14), pp. 41—51. (In Russian)

16. Belov Yu.F., Ivashchenko V.A. Avtomatizatsiya kontrolya i ucheta nefteproduktov na avtozapravochnykh stantsiyakh na osnove scada-sistemy [Automation of Control and Accounting for Petroleum Products at Filling Stations on the Basis of Scada-System]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. 2010, vol. 3, no. 1 (46), pp. 82—89. (In Russian)

17. Abramovich D.B., Rezepov D.F. Rynok nefteproduktov kak chast' khozyaystvennoy sistemy obshchestva [The Oil Market as Part of the Economic System of Society]. FƏN-Nauka. 2012, vol. 1, no. 11 (14), pp. 5—7. (In Russian)

18. Kokodeeva N.E. Teorii riska v voprosakh razmeshcheniya avtozapravochnykh stantsiy [Risk Theories Regarding the Location of Gas Stations]. *Naukovedenie: internet-zhurnal* [On-line Journal "Naukovedenie"]. 2013, no. 1 (14), pp. 1—8. Available at: http://naukovedenie.ru/PDF/26tvn113.pdf. Date of access:13.04.2015. (In Russian)

19. Shaytar V. Kakoy dolzhna byt' AZS? [How Should the Gas Station Look Like?]. *Masterskaya. Sovremennoe stroitel'stvo: elektronnyy zhurna* [Electronic Journal "Workshop. Modern Construction"]. Available at: http://masterskaya.by/articles/19/kakoy-doljna-byt-azs/. Date of access:14.04.2015. (In Russian)

20. Kochetkov A.V., Ermolaeva V.V., Ermolaev B.V., Myrzakhmetov B.A. Novye instrumental'nye sredstva izyskaniya i proektirovaniya ob"ektov transportnogo stroitel'stva [New Research Tools and Design of Transportation Objects Construction]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. 2010, no. 1 (44), pp. 189—194. (In Russian)

About the authors: **Levin Ruslan Yur'evich** — postgraduate student, engineer, Department of Automobiles and Automobile Economy, **Ivanovo State Polytechnic University (UVGPU)**, 20, 8 Marta str., Ivanovo, 153037, Russian Federation; +7 (4932) 32-51-83; ruslan.levin@mail.ru;

Maslennikov Valeriy Aleksandrovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, chair, Department of Automobiles and Automobile Economy, **Ivanovo State Polytechnic University (UVGPU)**, 20, 8 Marta str., Ivanovo, 153037, Russian Federation; +7 (4932) 32-51-83; k_aah37@mail.ru.

For citation: Levin R.Yu., Maslennikov V.A. Vliyanie sposoba razmeshcheniya toplivo-razdatochnykh kolonok na prodolzhitel'nost' tsikla zapravki avtomobiley [The Influence of the Placement Method of Fuel Dispensers on the Refueling Cycle of Vehicles]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 103—110. (In Russian)

УДК 69:658

Д.Н. Силка, К.В. Уразова
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ПОИСК ВНУТРЕННИХ ФАКТОРОВ И РЕЗЕРВОВ РОСТА СТРОИТЕЛЬСТВА С УЧЕТОМ ВКЛАДА ГОСУДАРСТВА

Рассмотрен опыт и проблематика использования суверенных государственных фондов в строительстве в современных условиях. Исследованы способы наиболее эффективного применения резервов в качестве системного решения проблем национальной экономики — поддержка строительной сферы позволяет дать ответы на вызовы макроэкономического кризиса. Предложены меры качественного изменения содержания государственного заказа и инвестирования в области строительства. Раскрывается роль государства не только в решении общих отраслевых вопросов, но и вопросов системного характера развития регулирования и нематериальных активов.

Ключевые слова: компенсационный фонд, резервный фонд, рыночная экономика, саморегулируемые организации, стабилизационный фонд, фонд национального благосостояния, строительство.

Поиск внутренних факторов роста и управление ими являются инвариантными в современных условиях для ускорения процессов выхода из кризиса. Для решения современных проблем становятся особо необходимыми качественные изменения. В настоящее время в основе таких изменений, прежде всего, рассматривается совершенствование государственного участия в регулировании экономикой в целом и совершенствование государственного заказа в частности. Существует целый ряд отраслей и сфер деятельности, где участие государства имеет принципиальный характер и необходимо во все времена. Так, несмотря на большие возможности роста строительства, без государственной поддержки данной сферы достичь весомых результатов никогда не получалось. Востребованная модель экономического устройства ориентирована на использование механизма государственного регулирования создания нематериальных активов для решения различных проблем. Именно инновации, совершенствование системы нормативного регулирования, в частности, и является двигателем прогресса в отрасли и показывает смыслы непосредственного участия государства. Не всегда удавалось и удается действовать в рамках государственного бюджета, поэтому особую роль выполняют специальные государственные механизмы.

Еще в 1950-х гг. прошлого столетия для повышения стабильности и устойчивости национальных экономик стали создаваться Суверенные фонды благосостояния (СФБ), но только в последнее время им стало уделяться пристальное внимание. В соответствии с классификацией Международного валютного фонда, СФБ разделяются на стабилизационные фонды, фонды будущих поколений, общества размещения официальных резервов, фонды развития, резервные фонды [1, 2].

Отечественная модель построения СФБ была реализована в прошлом десятилетии и содержала два этапа. На первом этапе — с 1 января 2004 г. по

© Силка Д.Н., Уразова К.В., 2015

1 января 2008 г. — был учрежден и функционировал Стабилизационный фонд, представлявший классический пример аналогичных институтов в других странах. На втором этапе — с 1 февраля 2008 г. — Стабилизационный фонд был разделен на два вновь созданных фонда: Резервный фонд (РФ) и Фонд национального благосостояния (ФНБ). Целью формирования РФ является обеспечение финансирования бюджетных расходов и сбалансированности федерального бюджета: он выполняет роль стабилизационного фонда. ФНБ создан для финансовой поддержки национальной пенсионной системы путем обеспечения софинансирования добровольных пенсионных накоплений граждан и сбалансированности бюджета Пенсионного фонда. По сути, он представляет собой модель фонда будущих поколений [3, 4].

Средства РФ и ФНБ являются резервом государства. По состоянию на 1 января 2015 г. совокупный объем средств РФ составил 4945492,3 млн р., а ФНБ — 5101831,8 млн р. [5—7].

В условиях кризиса национальной экономики у многих участников рыночных отношений имеется большая надежда на поддержку со стороны ФНБ, из которого Правительством планируется выделить сумму 525 млрд р. Сюда не входят 100 млрд р., уже перечисленных ВТБ и на проекты Российского фонда прямых инвестиций. На проекты будет выделена часть средств из 5,1 трлн р. Предусматривается, во-первых, модернизация железнодорожных путей БАМа и Транссиба (проект «Восточный полигон»), на что до 2018 г. будет потрачено 150 млрд р. Еще по 150 млрд р. пойдет на проект по производству сжиженного природного газа «Ямал СПГ» и проект Росатома, предполагающий строительство АЭС в Финляндии, а на оставшиеся средства будут профинансированы строительство Центральной кольцевой автодороги, ликвидация «цифрового неравенства» (обеспечение к 2018 г. доступа к широкополосному интернету для 80 % домохозяйств, проект осуществляется Ростелекомом) и развитие сетевой инфраструктуры передачи электроэнергии компанией «Россети». Все выделяемые из ФНБ средства будут представлять собой кредиты по ставке «инфляция + 1 % годовых». ФНБ должен компенсировать закрытие для нас внешних рынков, но имеющихся средств, очевидно, недостаточно, чтобы компенсировать все выпавшие доходы в национальном хозяйстве [8—10].

Современный мир не отличается постоянством. Экономические и финансовые кризисы происходят все чаще, последствия от них все масштабней и разрушительней. Аналитики, ведущие специалисты, которые занимаются оценкой состояния мировой экономики, дают прогнозы, но ни один из них не может сказать с абсолютной уверенностью, что действительно произойдет на мировой арене, и когда случится новый экономический кризис. Именно поэтому все страны, которые могут позволить себе откладывать средства на «черный день», непременно используют эту возможность [5].

Необходимо отметить, что в ближайшие годы средства фонда пополняться не будут, в связи с этим, рациональное их использование приобретает особо большое значение. Подписан закон, согласно которому с 1 января 2015 г. нефтегазовые доходы, вместо пополнения РФ, будут направлены на покрытие дефицита бюджета. Более того, механизм эффективного распределение резервов в экономике России остается слабо разработанным. Учитывая прошлую практи-

ку, отмечается следующее. Осуществляя вложение средств РФ в гособлигации США в прошлые годы, фактически происходила поддержка чужой экономики, при этом отмечалась низкая доходность. Так, облигации США приносят доход менее 1 % годовых, для сравнения инвестиционный фонд Абу-Даби зарабатывает порядка 6…8 % в год, инвестируя в акции, облигации, частные фонды, инфраструктурные компании и недвижимость [11].

Таким образом, роль российского государства в рыночной экономике вызывает ряд противоречий. В общей теории, а также практике развитых стран известно, что одна из важнейших функций — стабилизация экономики и стимулирование сбалансированного экономического роста[1]. Системой определенных мер в области бюджетной, денежно-кредитной и фискальной политики государство пытается преодолеть кризисные явления, снизить инфляцию. Государственное регулирование дополняет, корректирует чисто рыночный механизм [12].

За последние два десятилетия Россия в этом вопросе прошла серьезный эволюционный этап. Как показала ретроспектива, в 1991—1998 гг. имелась фактически колониальная экономика, или «доэкономика». Она характеризовалась дефицитным бюджетом, большим внешним государственным долгом, крайне низкой монетизацией, очень высокой ценой денег, низким спросом на них.

Далее, постколониальная экономика — 1999—2008 гг. Здесь уже другая система: профицитный бюджет, очень низкий внешний госдолг, растущая монетизация, высокий спрос на деньги при их высокой стоимости, короткие сроки кредитования, большой частный внешний долг. Главная особенность этого этапа — большая зависимость развития от доступа к внешним рынкам капитала.

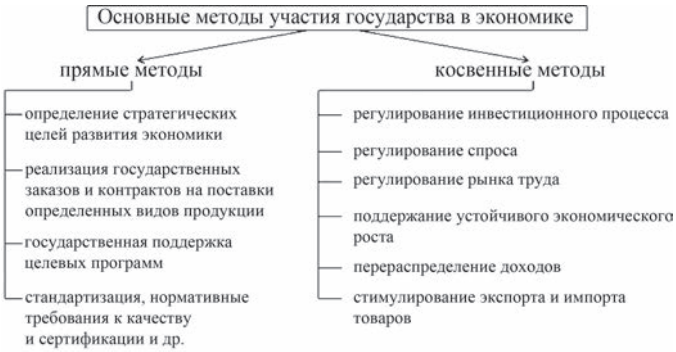
Но теперь, особенно когда вскрылись проблемы и слабые стороны российского общества, должен наступить новый этап — самостоятельная экономика. Для нее характерны другие признаки финансовой системы: слегка дефицитный бюджет, финансируемый на внутреннем рынке, относительно небольшой внешний долг как государства, так и частных компаний, формирование рынка длинных денег, низкие процентные ставки. Обеспечить это может сложная структура финансового рынка.

Таким образом, исследуя роль российского государства в рыночном механизме, отметим, что важность поддержки реального сектора экономики не снижается, а даже возрастает. Вместе с этим, не следует пытаться замещать банковский сектор бесконечной чередой фондов. В этом случае возникает опасность выкачивания денег из частного сектора в новые не отработанные институты с непонятными правилами финансирования [13—15].

Относительно масштабов вмешательства государства в экономику, его роли в этом процессе идет постоянная дискуссия. Строительный рынок при должной его организации представляет собой хорошо отлаженный, несмотря на свой спонтанный характер, механизм, способный решать экономические за-

[1] Предварительная оценка исполнения федерального бюджета за январь-апрель 2014 года // Минфин России. Режим доступа: http://old.minfin.ru/ru/press/press_releases/index.php?id_4=21711.php?id_4=21711. Дата обращения: 01.02.2015.

дачи, стоящие перед обществом, где государству принадлежит ключевая роль в обеспечении стабильности деятельности. Идеальная модель экономического устройства общества предполагает использование механизма государственного регулирования для решения различных проблем (рис).



Государство в управлении экономикой

При прямом участии государство обладает капиталами в самых разнообразных формах, предоставляет кредиты, принимает долевое участие, является собственником предприятий. Прямое участие государства не исключает принятия законодательных актов, призванных упорядочить и развивать отношения между всеми элементами рыночной системы.

Косвенное участие заключается в стимулировании капиталовложений и восстановлении (если это возможно) равновесия между сбережениями и инвестициями. Для проведения этих разнообразных мер государство прибегает главным образом к фискальной и кредитно-денежной политике. Фискальная политика — это бюджетная политика. Ее можно определить как политику, проводимую путем оперирования государственными доходами (прежде всего налогами) и расходами.

Для решения проблем эффективного участия государства в рыночном механизме в 2012 г. была создана автономная некоммерческая организация «Институт изучения проблем саморегулирования» (АНО «Институт проблем саморегулирования»). Деятельность организации посвящена задачам кардинального решения жилищной проблемы в ближайшем десятилетии, а также осуществления крупных инфраструктурных проектов. Институт призван стать тем органом, который будет заниматься независимой экспертной оценкой строительной отрасли, определять магистральные пути ее развития, выдавать объективные заключения по новым решениям, рекомендациям, законодательным инициативам [16—18].

В рамках создания данного института прослеживается попытка государства предложить меры поддержки экономики не только путем прямого финансирования крупных программ и проектов. Активизация бизнеса на основе имеющегося внутреннего потенциала имеет решающее значение для восстановления роста экономики страны. Одной из сфер деятельности, к которой возрастает внимание во все большей степени, является строительство.

Рассмотрим подробнее, как государство может поддержать рост, используя искомые меры, не относящиеся к прямым инвестициям.

В настоящее время строительная отрасль развивается в рамках системы саморегулирования, где государство целенаправленно снизило свою роль. Главной целью системы саморегулирования является перенос ответственности строителей за результаты их деятельности с государственных структур (при государственном лицензировании строительной деятельности) на самих участников строительного рынка. При этом основная задача, саморегулируемой организации (СРО) заключается в сведении до минимума риска возникновения ситуации, когда по вине одного из участников организации наносится вред жизни, здоровью, имуществу физических и юридических лиц, не участвующих в строительстве, а также ущерб экологической обстановке или памятникам истории и культуры. Для реализации этой цели, строительная СРО ставит ряд условий желающим вступить в организацию, выпускает и утверждает локальные нормативные документы, а также формирует компенсационный фонд. Кроме этого, СРО может организовать систему страхования. Строительные компании, вступающие в СРО, могут иметь дополнительные финансовые гарантии от страховых компаний[2].

17 сентября 2014 г. состоялась пятая Всероссийская научно-практическая конференция «Саморегулирование в строительном комплексе: повседневная практика и законодательство». Разработанный конференцией новый законопроект предлагает уровни регулирования строительного рынка. Государственный, при котором нормативно-правовую базу обеспечивает государство. Национальный, в котором создается одна национальная СРО, которая представляет интересы отрасли в полном объеме. Обычная СРО, защищающая интересы рядовых членов на местах.

Законопроект вырос из предложений о внесении поправок в уже действующий федеральный закон № 315 «О саморегулировании». Поправок было столько, что было принято решение подготовить отдельный закон о национальных СРО. В первую очередь были определены основные принципы создания таких национальных объединений: добровольность, одна национальная СРО в отрасли (куда войдет не менее 50 % всех СРО), отсутствие заградительных барьеров для вступления, публичность деятельности национальной СРО, ротация его органов, запрет на предпринимательскую деятельность в рамках национальной СРО, равноправие (одна СРО — один голос).

Авторы нового законопроекта аргументируют необходимость создания национальных объединений СРО тем, что такие объединения могут стать посредниками между государством и многочисленными СРО[3] [19, 20], что эта новая форма функционирования строительного рынка позволит исключить излишнее управление и регулирование, контроль и надзор со стороны государства строительной отрасли. Необходимость создания новой организации мотивировалась и тем, что строительство в кризисный период пострадало значительно. А значит для отрасли важно создание таких СРО, где бы комплексно решались

[2] Саморегулируемая организация // Северо-Западная строительная компания «Терра». Режим доступа: http://szskterra.ru/news/samoreguliruemaya-organizacziya.html. Дата обращения: 10.01.2015.

[3] *Мацейко Е.* Бюджет СРО проедают «чиновники от саморегулирования» // СТРОИТЕЛЬСТВО.RU. Режим доступа: http://rcmm.ru/content/topics/704.html. Дата обращения: 10.01.2015.

вопросы безопасного строительства, разработка новых пакетов документальных и нормативных документов, стандартов и, что само главное, — обеспечивалась бы материальная ответственность за все нарушения, выявленные в ходе изысканий, проектирования и строительных работ[4].

Одной из таких недоработок явилась величина компенсационного фонда. Эта сумма, как показал опыт создания СРО, очень велика и недоступна малым фирмам и предприятиям. Таким образом, они фактически оказываются за бортом СРО, а ведь большая часть строительных работ в стране (более трети объемов) выполнена именно ими.

При допуске СРО к определенным видам работ не происходит полноценная процедура проверки хозяйствующих субъектов, желающих осуществлять деятельность в строительной сфере и соответственно «приобрести» свидетельство о допуске к определенным видам работ. К минимальным необходимым требованиям для выдачи свидетельства о допуске к работам, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства, относятся наличие работников, имеющих высшее или среднее профессиональное образование соответствующего профиля, стаж работников компании и другие установленные законом требования. Несоблюдение вышеуказанных условий влечет отказ СРО в оформлении членства хозяйствующего субъекта, и, как следствие, отказ в выдаче свидетельства о допуске к определенным видам работ и невозможность осуществления законной строительной деятельности.

При этом, согласно закону, СРО осуществляет:

предупреждение причинения вреда жизни или здоровью физических лиц, имуществу физических или юридических лиц;

предъявление требований к выдаче свидетельств о допуске к работам, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства;

принятие мер к повышению качества выполнения инженерных изысканий;

установление административной ответственности.

В реальных условиях все проблемы, разрешение которых возлагалось на СРО, не нашли путей устранения. Более того, в настоящее время, как было указано выше, государство готово увеличить финансирование инвестиционных проектов и приступить к реализации масштабных программ, хотя, как следует из анализа, имеются большие пробелы в регулировании отрасли, и, по нашему мнению, нужно усилить влияние государства именно в этих направлениях.

Если рассматривать современный период, государство готово помочь реальному сектору экономики. Но инструментов поддержки явно недостаточно. Так, в 2015 г. в список системообразующих предприятий не попали средние и высокотехнологичные предприятия, которым в первую очередь и нужна помощь, не попали и строительные компании [6, 21, 22].

Исходя из этого, государство снова планирует потратить деньги, но не на инновации в высокотехнологичное производство. Более того, не обеспечена и информационная открытость саморегулирования. В этой связи на современном этапе развития отрасли вскрываются следующие основные проблемы и потребности:

[4] НП СРО «Межрегионстройконтроль» // Межрегионстройконтроль. Режим доступа: http://www.msk-sro.ru/. Дата обращения: 01.02.2015.

принимает особую актуальность проведение независимой экспертной оценки строительной отрасли в отношении эффективности и целесообразности государственных инвестиций и способов поддержки строительства;

становится критически важным своевременное утверждение и выпуск локальных нормативных документов, учитывающих происходящие изменения как в экономике в целом, так и отрасли, в частности;

немаловажной остается проблема порядка регулирования деятельности отрасли. Выдача свидетельств о допуске к определенным видам работ (СРО) отмечается на уровне Министерства строительства как весьма неэффективная форма контроля безопасности в строительстве, что несет в себе определенные сигналы профессиональному сообществу строителей и требует нахождения баланса интересов между государством и бизнесом и требует принятия мер по исправлению ситуации;

государственные органы преимущественно занимаются решением задач освоения бюджетных средств на освоение капиталовложений, хотя все более востребованным становится качественное развитие отрасли, поддержка высокотехнологичных отраслей и сфер деятельности, использование накопленных резервов для создания драйверов роста.

Вывод. Государство тратит большие ресурсы на прямую поддержку экономики, при этом косвенные, исключительно рыночные меры являются недостаточными.

На протяжении последних лет осуществляются попытки сформировать полноценный институт саморегулирования, хотя все более остро проявляется недостаток регулирования со стороны государства.

Средства, которые тратятся на прямую поддержку экономики необходимо активно направлять на совершенствование СРО и на создание государственных механизмов развития инновационной деятельности, модернизации промышленности строительных материалов и непосредственно сферы строительства и соответствующих производственных мощностей.

Кроме того, отметим, что государство может участвовать в решении не только общих отраслевых вопросов, но и вопросов системного характера. Для этого нужно наличие соответствующих органов, которыми будут являться гарантийные, а также компенсационные фонды. Эти органы имеют свою долю ответственности, но только благодаря совместной деятельности и сотрудничеству с бизнесом, возможно организовать максимально эффективную финансовую надежность, прозрачность, стойкость. В этой связи преодоление вызовов имеющегося кризиса также целиком и полностью зависит от государственной деятельности в области вопросов реального производства.

Библиографический список

1. *Чалова О.В.* Анализ международной практики функционирования суверенных фондов благосостояния // Молодой ученый. 2014. № 3 (62). С. 590—594.

2. *Ng S.T., Fan R.Y.C., Wong J.M.W., Chan A.P.C., Chiang Y.H., Lam P.T.I., Kumaraswamy M.* Coping with structural change in construction: experiences gained from advanced economies // Construction Management and Economics. 2009. Vol. 27. No. 2. Pp. 165—180.

3. *Варнавский В.* Стабилизационный фонд как инструмент экономической политики государства // Мировая экономика и международные отношения. 2007. № 5. С. 40.

4. *Глазьев С.М.* О стратегии экономического развития России // Вопросы экономики. 2007. № 5. С. 30—51.

5. *Мохамед Эль-Эриан.* Фонды национального благосостояния в новых нормальных условиях // Финансы и развитие. 2010. № 6. С. 44—47. Режим доступа: https://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/fandd/2010/06/pdf/elerian.pdf. Дата обращения 25.01.2014.

6. *Andrew B. Abel, Ben S. Bernanke.* Macroeconomics. 7th edition. Pearson Education, Inc. 2011. 632 p.

7. What is a sovereign wealth fund? // Simontaylorsblog. Режим доступа: http://www.simontaylorsblog.com/2013/03/21/what-is-a-sovereign-wealth-fund. Дата обращения: 25.01.2015.

8. ФНБ открывается для госкомпаний // Эксперт. № 7 (933).Режим доступа: http://expert.ru/expert/2015/07/fnb-otkryivaetsya-dlya-goskompanij. Дата обращения: 09.02.2015.

9. *Фомченков Т.* Минфин не исключил использования дополнительных средств из ФНБ // Российская газета. 13.09.2014. Режим доступа: http://www.rg.ru/2014/09/13/sredstva-site-anons.html. Дата обращения: 09.02.2015.

10. *Кружкова С.В.* Компенсационный фонд саморегулируемых организаций: правовые основы формирования и распоряжения средствами // Журнал российского права. 2013. № 1. С. 109—116.

11. *Полиевктова С.О.* Повышение эффективности управления средствами Резервного фонда и Фонда национального благосостояния // Молодой ученый. 2014. № 8.2. С. 47—48.

12. *Силка Д.Н.* Принципы государственного управления циклами деловой активности в строительстве. М. : МГСУ, 2012.

13. *Гурова Т., Калянина Л., Обухова Е., Огородников Е., Полунин Ю., Яковенко Д.* Пора доставать джокера // Эксперт. 2014. № 39: Эксперт online. Режим доступа: http://expert.ru/expert/2014/39/pora-dostavat-dzhokera. Дата обращения: 01.10.2014.

14. *Дидковкая О.В., Горелова С.С., Тарасенко О.С.* Оценка эффективности управления недвижимостью социальной сферы // Экономические аспекты управления строительным комплексом в современных условиях : материалы II Междунар. (очной) науч.-практ. конф. (28—29 мая 2014 г.). Самара, 2014. С. 157—162. Режим доступа: http://www.samgasu.ru/Ouruniversity/News/DnnArticleView_News_Root/tabid/439/ArticleID/2351/smid/767/reftab/1133/Default.aspx. Дата обращения: 01.10.2014.

15. *Соловьева С.В.* Денежно-кредитная политика России на современном этапе // Вопросы экономических наук. 2009. № 3. С. 96—98.

16. *Балуца С.В.* Необходимость государственного регулирования экономики // Ключевые проблемы современной науки — 2009 : материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф. Режим доступа: http://www.rusnauka.com/12_KPSN_2009/Economics/44839.doc.htm. Дата обращения: 01.10.2014.

17. *Силка Д.Н.* Экономические интересы как побудительные мотивы предпринимательской деятельности // Приволжский научный журнал. 2013. № 4. С. 158—161.

18. Финансы и кредит в строительстве / под общ. ред. Н.Ю. Яськовой. М. : Молодая гвардия, 2011. 589 с.

19. *Шохина Е.* От госконтроля к саморегулированию // Эксперт. 2015. № 5. Режим доступа: http://expert.ru/2015/01/29/ot-goskontroly-k-samoregulirovaniyu/. Дата обращения: 09.02.2015.

20. *Воронина М.М.* Об особенностях реорганизации членов СРО и формирования компенсационных фондов СРО // Аудитор. 2013. № 10. Режим доступа: http://gaap.ru/articles/Ob_osobennostyakh_reorganizatsii_chlenov_SRO_i_formirovaniya_kompensatsionnykh_fondov_SRO. Дата обращения: 01.10.2014.

21. *Яковенко Д.* Поддержали бумагой // Эксперт. 2015. № 8 (934). С. 34—37.

22. *Lenihan A.T.* Sovereign wealth funds and the acquisition of power // New Political Economy. 2014. Vol. 19. No. 2. Pp. 227—257.

Поступила в редакцию в марте 2015 г.

Об авторах: **Силка Дмитрий Николаевич** — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления в строительстве, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, w220@yandex.ru;

Уразова Ксения Вадимовна — аспирант кафедры экономики и управления в строительстве, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, ksen92@yandex.ru.

Для цитирования: *Силка Д.Н., Уразова К.В.* Поиск внутренних факторов и резервов роста строительства с учетом вклада государства // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 111—121.

D.N. Silka, K.V. Urazova

SEARCH OF INNER FACTORS AND RESERVES OF CONSTRUCTION DEVELOPMENT WITH ACCOUNT FOR THE STATE CONTRIBUTION

The search for inner factors of the development and their control are invariant in the current conditions for fastening the processes of overcoming the crisis. In order to solve the contemporary problems quality changes are necessary. Today in the basis of such changes advancing the state participation in regulating the economy in general and advancing the state order in particular are considered. Though the possibilities of construction development are rather great, it has always been impossible to achieve the essential results without state support.

The authors considered the experience and problems of using sovereign state funds in construction in the modern conditions. The ways to efficiently apply the reserves as system solution of national economy problems are investigated — support of construction sphere allows facing the challenges of macroeconomy crisis. The authors offer the means of quality change of state order content not only in solving general branch questions, but also the questions of system character of control development of intangible assets.

Key words: indemnification fund, emergency fund, market economy, self-regulating organizations, stabilization fund, National Wealth Fund, construction.

References

1. Chalova O.V. Analiz mezhdunarodnoy praktiki funktsionirovaniya suverennykh fondov blagosostoyaniya [World Practice Analysis of Sovereign Wealth Funds Functioning]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist]. 2014, no. 3 (62), pp. 590—594. (In Russian)

2. Ng S.T., Fan R.Y.C., Wong J.M.W., Chan A.P.C., Chiang Y.H., Lam P.T.I., Kumaraswamy M. Coping with Structural Change in Construction: Experiences Gained from Advanced Economies. Construction Management and Economics. 2009, vol. 27, no. 2, pp. 165—180. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/01446190802699040.

3. Varnavskiy V. Stabilizatsionnyy fond kak instrument ekonomicheskoy politiki gosudarstva [Stabilization Fund as an Instrument for Economical Policy of the State]. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya* [World Economy and International Relations]. 2007, no. 5, p. 40. (In Russian)

4. Glaz'ev S.M. O strategii ekonomicheskogo razvitiya Rossii [On the Strategy of Economical Development of Russia]. *Voprosy ekonomiki* [Problems of Economy]. 2007, no. 5, pp. 30—51. (In Russian)

5. Mokhamed El-Erian. Fondy natsional'nogo blagosostoyaniya v novykh normal'nykh usloviyakh [Funds of National Wealth in New Usual Conditions]. *Finansy i razvitie* [Finance in Development]. 2010, no. 6, pp. 44—47. Available at: https://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/fandd/2010/06/pdf/elerian.pdf. Date of access: 25.01.2014.

6. Andrew B. Abel, Ben S. Bernanke. Macroeconomics. 7th edition. Pearson Education, Inc., 2011, 632 p.

7. What is a Sovereign Wealth Fund? Simontaylorsblog. Available at: http://www.simontaylorsblog.com/2013/03/21/what-is-a-sovereign-wealth-fund. Date of access: 25.01.2015.

8. FNB otkryvaetsya dlya goskompaniy [NWF is Opening for State Companies]. *Ekspert* [Expert]. No. 7 (933). Available at: http://expert.ru/expert/2015/07/fnb-otkryivaetsya-dlya-goskompanij. Date of access: 09.02.2015. (In Russian)

9. Fomchenkov T. Minfin ne isklyuchil ispol'zovaniya dopolnitel'nykh sredstv iz FNB [Ministry of Finance Does Not Rule Out the Use of Additional Means from NWF]. *Rossiyskaya gazeta* [Russian Newspaper]. 13.09.2014. Available at: http://www.rg.ru/2014/09/13/sredstva-site-anons.html. Date of access: 09.02.2015. (In Russian)

10. Kruzhkova S.V. Kompensatsionnyy fond samoreguliruemykh organizatsiy: pravovye osnovy formirovaniya i rasporyazheniya sredstvami [Indemnification Fund of Self-regulating Organizations: Legislative Foundations for Formation and Distribution of Means]. *Zhurnal rossiyskogo prava* [Journal of Russian Law]. 2013, no. 1, pp. 109—116. (In Russian)

11. Polievktova S.O. Povyshenie effektivnosti upravleniya sredstvami Rezervnogo fonda i Fonda natsional'nogo blagosostoyaniya [Raising the Regulation Efficiency of Emergency Fund and National Wealth Fund Means]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist]. 2014, no. 8.2, pp. 47—48. (In Russian)

12. Silka D.N. Printsipy gosudarstvennogo upravleniya tsiklami delovoy aktivnosti v stroitel'stve [Principles of State Management of Business Cycles in Construction]. Moscow, MGSU Publ., 2012. (In Russian)

13. Gurova T., Kalyanina L., Obukhova E., Ogorodnikov E., Polunin Yu., Yakovenko D. Pora dostavat' dzhokera [It's Time to Use Best Bower]. *Ekspert* [Expert]. 2014, no. 39: Expert online. Available at: http://expert.ru/expert/2014/39/pora-dostavat-dzhokera. Date of access: 01.10.2014. (In Russian)

14. Didkovkaya O.V., Gorelova S.S., Tarasenko O.S. Otsenka effektivnosti upravleniya nedvizhimost'yu sotsial'noy sfery [Estimating the Efficiency of Real Estate Management in Social Sphere]. *Ekonomicheskie aspekty upravleniya stroitel'nym kompleksom v sovremennykh usloviyakh : materialy II Mezhdunarodnoy (ochnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii (28—29 maya 2014 g.)* [Economical Aspects of Construction Complex Management in the Current Conditions : Materials of the 2nd International (Live) Science and Practice Conference (May 28—29, 2014)]. Samara, 2014, pp. 157—162. Available at: http://www.samgasu.ru/Ouruniversity/News/DnnArticleView_News_Root/tabid/439/ArticleID/2351/smid/767/reftab/1133/Default.aspx. Date of access: 01.10.2014. (In Russian)

15. Solov'eva S.V. Denezhno-kreditnaya politika Rossii na sovremennom etape [Monetary Policy in Russia on the Present Stage]. *Voprosy ekonomicheskikh nauk* [Issues of Economical Sciences]. 2009, no. 3, pp. 96—98. (In Russian)

16. Balutsa S.V. Neobkhodimost' gosudarstvennogo regulirovaniya ekonomiki [Necessity of State Regulation of the Economy]. *Klyuchevye problemy sovremennoy nauki — 2009 : materialy 5-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticjeskoy konferentsii* [Key Problems of Contemporary Science — 2009 : Materials of the 5th International Science and Practice Conference]. Available at: http://www.rusnauka.com/12_KPSN_2009/Economics/44839.doc.htm. Date of access: 01.10.2014. (In Russian)

17. Silka D.N. Ekonomicheskie interesy kak pobuditel'nye motivy predprinimatel'skoy deyatel'nosti [Economical Interests as Incentives of Business Activity]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2013, no. 4, pp. 158—161 (In Russian)

18. Yas'kova N.Yu., editor. *Finansy i kredit v stroitel'stve : uchebnik dlya vuzov* [Finance and Credit in Construction : Textbook for Universities]. Moscow, Molodaya gvardiya Publ., 2011, 589 p. (In Russian)

19. Shokhina E. Ot goskontrolya k samoregulirovaniyu [From State Control to Self-Regulation]. *Ekspert* [Expert]. 2015, no. 5. Available at: http://expert.ru/2015/01/29/ot-goskontrolyk-samoregulirovaniyu/. Date of Access: 09.02.2015. (In Russian)

20. Voronina M.M. Ob osobennostyakh reorganizatsii chlenov SRO i formirovaniya kompensatsionnykh fondov SRO [On the Features of SRO Members Reorganization and Formation of Indemnification Funds of SRO]. *Auditor* [Auditor]. 2013, no. 10. Available at: http://gaap.ru/articles/Ob_osobennostyakh_reorganizatsii_chlenov_SRO_i_formirovaniya_kompensatsionnykh_fondov_SRO. Date of access: 01.10.2014. (In Russian)

21. Yakovenko D. Podderzhali bumagoy [Supported by Paper]. *Ekspert* [Expert]. 2015, no. 8 (934), pp. 34—37. (In Russian)

22. Lenihan A.T. Sovereign Wealth Funds and the Acquisition of Power. New Political Economy. 2014, vol. 19, no. 2, pp. 227—257. http://dx.doi.org/10.1080/13563467.2013.779650.

About the authors: **Silka Dmitriy Nikolaevich** — Candidate of Economical Sciences, Associate Professor, Department of Economy and Management in Construction, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; w220@yandex.ru;

Urazova Kseniya Vadimovna — postgraduate student, Department of Economy and Management in Construction, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ksen92@yandex.ru.

For citation: Silka D.N., Urazova K.V. Poisk vnutrennikh faktorov i rezervov rosta stroitel'stva s uchetom vklada gosudarstva [Search of Inner Factors and Reserves of Construction Development with Account for the State Contribution]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 111—121. (In Russian)

УДК 338:69

З.Т. Фокина
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СЦЕНАРИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ И УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Рассмотрены варианты социально-экономического развития России на основе применения синергетического сценарного метода. В связи с анализом опыта США и СССР в научно-техническом развитии в экономике в целом и в строительстве как в одном из важнейших направлений экономики, обоснована необходимость осуществления в России в условиях рынка и информационной эпохи новой индустриализации. Проанализированы альтернативные сценарии изменения строительного комплекса России.

Ключевые слова: синергетический подход, социально-экономическое развитие, сценарии изменения, строительный комплекс, управление строительством.

В результате проведенных в нашей стране в 1990-е и последующие годы рыночных преобразований был осуществлен переход от командной, планово-административной экономики СССР к переходной экономике России рыночного типа. Реформы осуществлялись в условиях распада СССР и разрушения экономических связей между республиками, падения объемов промышленного производства, качества продукции, сокращения выпуска продукции, конкурентоспособной на мировых рынках, реализации курса на экспортно-сырьевое развитие страны, включения России в мировую систему глобальных экономических, политических, культурных отношений, в мировую экономику. Глобализация социального пространства сопряжена с процессом перехода ведущей роли в мировой экономике и политике к транснациональным корпорациям, определяющим основные тенденции мировой экономики и эксплуатации природных ресурсов.

Как будет развиваться страна и строительная отрасль ее экономики? Что ожидает граждан России в ближайшей и отдаленной перспективе? В процессе моделирования и управления будущим социальным развитием существенна роль синергетики.

На этапе современной постнеклассической науки, основанной на идеях глобального эволюционизма, системности и междисциплинарного взаимодействия различных отраслей научного знания, синергетика приобрела парадигмальное значение [1—4].

Синергетика представляет собой общую теорию самоорганизации материи и изучает всеобщие взаимосвязи природных, социальных, когнитивных открытых, неравновесных систем посредством математического моделирования. Она явилась преемницей целого ряда научных концепций, теорий, открытий: теории систем Л. фон Берталанфи, тектологии А.И. Богданова, кибернетики Н. Винера, концепции универсального эволюционизма В. Вернадского, Т. де Шардена, философских идей диалектики, научных открытий в области физики и химии.

© Фокина З.Т., 2015

Возникшая на базе междисциплинарного синтеза, синергетика предлагает новую методологию научного поиска, применимую в различных отраслях научного знания. Синергетика — ключ к изучению нестабильных, сложно эволюционирующих объектов с учетом неравновесности, нелинейности процессов, происходящих в открытых системах, их способности к самоорганизации и возникновению диссипативных структур, альтернативности, многовариантности развития, построения сценариев, моделей, охватывающих пути развития системы. Данная методология обозначена в науке как ветвящаяся древовидная графика.

Методы синергетики применяются в социальном прогнозировании и построении моделей социально-экономического развития отдельных стран, а также мирового развития в целом.

Используя подходы синергетики, синергетические сценарные методы, попробуем определить прогнозы, сценарии социально-экономического развития России.

Первый сценарий связан с превращением России в сырьевую базу и источник дешевой рабочей силы для развитых стран, с утратой интеллектуального и культурного потенциала страны. Этот сценарий вступает в противоречие с историческим прошлым нашей страны, традициями отечественного строительства, реализацией идей индустриализации, в результате чего Россия из аграрной страны превратилась в индустриальное государство. Таким образом, на вызов индустриальной эпохи наша страна ответила созданием мощной современной индустрии.

Исторические факты, накопленный интеллектуальный, промышленный, оборонный потенциал России свидетельствуют о том, что курс страны на экспортно-сырьевое развитие не должен быть целью социально-экономического развития России.

Реализация курса на инновационное развитие в условиях современной постиндустриальной, информационной эпохи сопряжена со вторым сценарием социально-экономического развития России. Рассмотрим его сущность с учетом глобальных тенденций мирового развития.

В настоящее время в условиях глобализации мировым трендом социально-экономического развития является постепенное движение к постиндустриальному, информационному обществу. Экономика и другие сферы общественной жизни в индустриальном и постиндустриальном обществах совершенствуются на базе развития науки, образования, научно-исследовательской деятельности, внедрения инноваций, интенсивного использования передовых технологий.

Общие мировые тенденции адекватно осознаются российской политической элитой и научным сообществом. Так, в Указе Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 889 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологии и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» особо выделены информационно-коммуникационные, нано-, биотехнологии и другие, формирующие ядро технологического уклада XXI в. [5].

Вопросы модернизации технологической базы производства, управления всех сфер социальной жизни детально разрабатывают в своих трудах российские ученые. Издается множество монографий, научных статей, научных сборников, посвященных научно-технической деятельности, внедрению инноваций в общественную жизнь, превращению России в общество, основанное на знаниях [6—8].

На уровне теоретических обобщений ученых и политических деклараций управляющей элиты курс на инновационное развитие России утвержден. Однако возникают существенные трудности в процессе реализации этого курса. По нашему мнению, одна из причин этих трудностей заключается в отсутствии масштабной объединяющей позитивной идеи, способной мобилизовать россиян на активный труд в условиях постиндустриальной эпохи. Для того, чтобы эту идею сформулировать, обратимся к краткому анализу опыта успешного научно-технического развития США и СССР.

В период 1930-х гг. в условиях Великой депрессии президент США Ф. Рузвельт предложил Новый курс, направленный на преодоление тяжелейшего кризиса. В соответствии с ним были обозначены следующие направления деятельности: 1) ограничение стихии рынка и введение государственного регулирования финансовой и экономической активности; 2) приоритетное финансирование фундаментальной и прикладной науки из госбюджета; 3) введение особого, 15-процентного налога на прибыль представителей бизнеса для развития фундаментальных и прикладных научных исследований; 4) концентрация усилий на реализации крупных национальных проектов.

В течение 6-7 лет в США быстро развивались строительная техника, судостроение, грузовой транспорт, авиационная промышленность. Страна вышла из кризиса и стала лидером мирового научно-технического прогресса.

Обратимся далее к анализу успешного научно-технического развития Советского Союза. На основе государственного регулирования экономики, приоритетного финансирования из госбюджета фундаментальных и прикладных научных исследований, реализации крупных национальных проектов была осуществлена индустриализация страны, создана мощная промышленность гражданского и военного назначения.

Отметим роль строительства в процессе осуществленных научно-технических преобразований. Ученые МГСУ в книге «Правители России и развитие строительства» (под ред. проф. Т.А. Молоковой) анализируют этапы пройденного пути [9]. Так, план ГОЭЛРО предполагал преимущественное развитие основных отраслей тяжелой индустрии, энергетики и строительство 30 новых электростанций. В результате успехов в капитальном строительстве были возведены Волховская ГЭС, Днепрогэс и другие объекты. Построены цеха на Краматорском заводе, Днепростали, в Магнитогорске и др. Были построены и успешно введены в эксплуатацию такие крупные объекты, как заводы «Шарикоподшипник», «Калибр», «Фрезер» в Москве, промышленные объекты в Ленинграде, Ростове-на-Дону и других городах. Курс на индустриализацию был сопряжен с преимущественным развитием тяжелой промышленности.

В эпоху индустриализации строились города: Магнитогорск, Запорожье, Комсомольск-на-Амуре и др.

Реализация курса на индустриализацию способствовала укреплению обороноспособности страны, разгрому фашистской Германии, изгнанию фашистских захватчиков с территории нашей страны.

В послевоенный период велось строительство Каховской, Братской, Цимлянской, Куйбышевской и других ГЭС. Вокруг мощных электростанций формировались промышленные комплексы.

Строились космодромы. В 1950—1960 гг. Советский Союз впервые в мире начал успешное освоение космического пространства.

В 1960—1980 гг. были построены Саяно-Шушенская, Усть-Илимская, Братская, Красноярская ГЭС, а также несколько атомных электростанций. В процессе реализации находились 15 крупных программ, в т.ч. строительство Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, создание Западно-Сибирского территориального комплекса, освоение Нечерноземья.

В этот период осуществляется строительство и реконструкция фабрик, заводов, транспортных предприятий: ЗИЛа, Красного пролетария, им. 50-летия Октября, им. Орджоникидзе, Большевички, Красной Розы и др.

Таким образом, в результате реализации курса на индустриализацию ускоренного научно-технического развития Советский Союз вышел на передовые рубежи научно-технического прогресса. Так, в 1988 г. СССР занимал четвертое место в мире в мировом научном рейтинге. В 1980-е гг. по экономическим показателям Советский Союз занимал второе место в мире после США.

Опыт истории поучителен. Если на вызов индустриальной эпохи наша страна ответила реализацией курса на индустриализацию и ускоренным научно-техническим развитием, то на вызов постиндустриальной эпохи мы должны ответить новой индустриализацией, осуществляемой в информационную эру. Повторить в XXI в. позитивный опыт успешного научно-технического развития Советского Союза — вот та задача, которая сейчас стоит перед Россией. Строительство в условиях рыночной экономики инновационных, соответствующих мировым стандартам промышленных объектов, реализация крупных национальных программ, движение к информационному обществу — вот лозунг времени. Ориентируясь на опыт предшествующих поколений нашей страны, учитывая опыт передовых постиндустриальных стран, граждане России смогут осуществить прогрессивные преобразования.

Проанализировав успешный опыт США и СССР по модернизации экономики и значительному ускорению темпов социально-экономического развития, обратимся к рассмотрению функционирования современного строительного комплекса России как одного из важнейших направлений экономики.

За годы перестроечных и постперестроечных реформ строительный комплекс нашей страны претерпел значительные изменения — были осуществлены: отход от централизованных директивных плановых показателей и вхождение строительства в систему рыночных отношений. В современной России частные фирмы выполняют 80 % всех подрядных работ, а 94 % всех строительных организаций находятся в частной собственности. Среди строительных организаций преобладают малые фирмы с численностью работников до 100 человек.

В рыночных условиях происходит свободная динамика капитала, и именно по признаку собственности на используемый капитал и участию в осуществлении определенного инвестиционного проекта в единый хозяйственный комплекс объединяются строительные предприятия с другими хозяйственными субъектами.

Строители возводят жилье, объекты производственной, социальной, инженерной, транспортной инфраструктуры. Планы строительства, сформированные для городов, регионов, страны в целом, позволяют охарактеризовать основные тенденции социально-экономического развития российского общества и проанализировать варианты будущего социально-экономического развития России.

За последние пять лет произошло усиление централизованного государственного управления строительством в регионах. Несмотря на то что классическая экономическая теория недооценивает роль государственного управления и делает акцент на саморегулируемые рыночные процессы, значение государства в регулировании экономической, в т.ч. строительной деятельности, весьма велико.

Органы власти по управлению строительством обеспечивают контроль соблюдения законодательства Российской Федерации о градостроительстве и архитектуре, формирования цен на строительную продукцию, выполнения функций заказчика по строительству и ремонту объектов, финансируемых за счет бюджетных средств. Они проводят экспертизы инвестиционных проектов, участвуют в процессах кредитования жилищного строительства, предоставляют права собственности на земельные участки застройщикам и т.д.

Именно в силу возрастания тенденции государственного регулирования строительной деятельности в настоящее время приоритетной является стратегия развития партнерства предприятий малого и среднего бизнеса частного сектора строительства с органами власти на основе учета рисков и неопределенностей, возникающих в процессе современной строительной деятельности [10, 11].

Целесообразно отметить две тенденции, сохраняющиеся в строительном комплексе страны.

Первая тенденция заключается в следующем: за годы рыночных преобразований удельный вес занятых в строительстве к общей численности населения, занятого в экономике, снизился на 44 %, а удельный вес строительства в ВВП сократился на 38 %.

Особо отметим, что для реализации курса инновационного, научно-технического развития России, осуществления прорыва в области экономики, сокращения разрыва в сфере экономического развития между развитыми постиндустриальными странами и Россией объемы, темпы строительства, количество населения, занятого в строительном производстве, должны не уменьшаться, а увеличиваться. Новая индустриализация, которую желательно осуществить в информационную эпоху, должна сопровождаться увеличением удельного веса строительства в ВВП страны.

Вторая тенденция, сохраняющаяся в строительном комплексе России, — нарушение пропорций между строительством промышленных объектов и возведением жилья. Так, в 2011 г. из числа зданий, введенных в действие, 93,0 %

составили объекты жилого назначения и только 7 % — здания промышленного и иного назначения (в 2010 г. — такие же данные).

Указанную тенденцию также необходимо постепенно корректировать. Безусловно, важно и нужно и далее строить жилье, ибо жилищно-коммунальный комплекс, возведенный в советскую эпоху, нуждается в существенном обновлении, реконструкции, значительном развитии. Однако следует расширять и промышленное строительство, осуществлять инвестирование крупных, современных проектов, имеющих большое значение для народного хозяйства страны. Только в этом случае возможен реальный переход России на рельсы инновационного развития.

Для корректировки указанных тенденций необходимо осуществлять управление строительством как на уровне строительной отрасли в целом, так и отдельных строительных предприятий. Для эффективного практического управления современным строительством необходимо дать определение управления, раскрыть его сущность, черты, виды. Зарубежные и отечественные ученые активно разрабатывают вопросы, касающиеся управленческой деятельности [11—14].

Приведем определение О.С. Виханского, который дал определение стратегического управления:

«Стратегическое управление — это такое управление организацией, которое опирается на человеческий потенциал как на основу организации, ориентирует производственную деятельность на запросы потребителей, осуществляет гибкое регулирование и своевременные изменения в организации, отвечающие вызову со стороны окружения и позволяющие добиваться конкурентных преимуществ, что в результате позволяет организации выживать и достигать своей цели в долгосрочной перспективе» [15].

Наряду со стратегическим управлением существует оперативное управление предприятием. Если в рамках стратегического управления формулируются перспективные цели и стратегии фирмы, то в пределах оперативного управления разрабатываются текущие планы, формируемые на каждый год, или в ряде случаев в бизнес-планах или среднесрочном плане.

Следует отметить, что стратегическое и оперативное управление строительством в целом и отдельными строительными предприятиями в современном обществе осуществляется в условиях риска и неопределенности. Это детерминируется общим, еще не закончившимся экономическим мировым кризисом, процессом слияния и поглощения предприятий, усилением конкурентной борьбы, невозможностью полного предсказания будущих изменений внешней среды.

Несмотря на специфику современной ситуации, менеджеры в строительной отрасли часто игнорируют неопределенность и предпочитают использовать традиционный аналитический подход, который предполагает, что применение мощных аналитических инструментов обеспечивает возможность прогнозирования состояния любой отрасли, любого бизнеса. Такая стратегия приводит к тому, что не используются шансы, возникающие в условиях высокой степени неопределенности, а также к тому, что предприятие оказывается незащищенным от опасностей, возникающих в условиях кризисной рыночной экономики [16—18].

Следует выделить четыре уровня неопределенности в ходе анализа современных бизнес-процессов: 1) вполне определенное будущее; 2) альтернативные варианты будущего; 3) большой диапазон вариантов будущего; 4) абсолютная неопределенность. На базе этой схемы можно отойти от традиционного аналитического подхода и, используя методы сценарного планирования, рассмотреть различные варианты развития событий применительно к строительной отрасли в целом, а также к деятельности отдельных предприятий стройиндустрии.

Используя синергетический метод сценарного планирования, рассмотрим альтернативные варианты изменения строительного комплекса России в целом.

Первый вариант сопряжен с сохранением или усилением тех тенденций в строительной отрасли, которые сформировались за годы рыночных реформ: сокращение удельного веса строительства в ВВП на 38 %; снижение удельного веса занятых в строительстве на 44 %; приоритет жилищно-гражданского строительства (93 % в 2011 г.) перед промышленным (7 % в 2011 г.); слабое финансирование фундаментальной и прикладной науки из госбюджета.

Реализация данного варианта изменений в строительной отрасли не будет способствовать тенденции уменьшения отставания России от развитых постиндустриальных стран, не приведет к существенному ускорению темпов научно-технического развития нашей страны.

Второй вариант сопряжен с инновационным, научно-техническим развитием строительной отрасли и экономики России в целом. Он предполагает: постепенное увеличение до 40 % удельного веса строительства в ВВП; постепенное повышение удельного веса занятых в строительстве на 45 %; восстановление гармоничного развития жилищно-гражданского и промышленного строительства, ликвидацию диспропорций между ними; строительство по инициативе государства передовых промышленных предприятий, реализуемое в качестве приоритетных национальных проектов с концентрацией финансовых, научных и других ресурсов на данном направлении (при финансовой поддержке из госбюджета и привлечении средств частных инвесторов); введение (по примеру США) особого государственного налога на прибыль деловых кругов России для финансирования фундаментальной и прикладной науки; материально-техническое перевооружение строительной отрасли нашей страны.

Реализация инновационного, научно-технического варианта развития строительной отрасли будет способствовать постепенному сокращению разрыва между социально-экономическим развитием России и постиндустриальных стран, созданию в нашей стране передовой, соответствующей мировым стандартам промышленности и науки, повышению качества жизни российских граждан.

Метод сценарного планирования успешно применяется не только для анализа состояния и будущего развития экономики страны в целом или отдельной отрасли, но и для рассмотрения тенденций изменений в деятельности предприятий и выработки управленческих решений [11, 12].

Повышение эффективности управления строительными предприятиями в современных условиях неопределенности можно осуществить не только путем повышения квалификации управленческих кадров, но и посредством перехода

к новой управленческой парадигме, представляющей собой систему взглядов, идей, разработанных крупными учеными и детерминирующих стиль мышления исследователей и управленцев-практиков.

Мы имеем ввиду новую парадигму И. Ансоффа. Если представители традиционного подхода рассматривали предприятие как закрытую систему и полагали, что успех фирмы определяется внутренними факторами: снижением издержек посредством выявления внутрипроизводственных резервов, повышением производительности труда и т.д., то И. Ансофф исходит из принципиально иных предпосылок.

В рамках новой парадигмы И. Ансоффа предприятие рассматривается как открытая система, успешность деятельности которой преимущественно определяется тем, насколько фирма может адаптироваться к условиям внешней среды — научно-техническим, экономическим, социально-политическим [11, 12].

Приверженцы данной парадигмы исходят из следующих идей: на предприятии должна быть служба стратегического планирования, сотрудники которой разрабатывают многовариантные плановые решения; на основе анализа различных вариантов (сценариев) можно выбрать оптимальный вариант, который поможет фирме противостоять агрессивному воздействию внешней среды и преодолеть возникающие проблемы; процесс стратегического управления предприятием представляет собой процесс моделирования деятельности фирмы на основе методов анализа и синтеза с использованием математических моделей.

Таковы синергетические подходы к моделированию экономики России в целом, отдельной отрасли или предприятия в современных условиях рыночной экономики. Таким образом, новая индустриализация, осуществляемая в атмосфере современной информационной эпохи, строительство передовых, инновационных, соответствующих мировым стандартам промышленных предприятий, реализация крупных национальных проектов, имеющих большое значение для ускоренного социально-экономического развития страны, строительство жилья — вот те задачи, которые сейчас стоят перед Россией.

Некоторые вопросы остались вне поля рассмотрения в данной статье. Однако автор планирует продолжить разработку актуальной в теоретическом и практическом отношениях темы синергетического сценарного метода — проанализировать в свете идей синергетики некоторые теоретические концепции управления, изменение энтропии в процессе управления строительным комплексом России, а также другие интересные вопросы.

Библиографический список

1. *Буданов В.Г.* Методология синергетики в постнеклассической науке и образовании. М. : Либроком, 2009. С.10—20.

2. *Степин В.С.* Саморазвивающиеся системы и философия синергетики // Путь в будущее — наука, глобальные проблемы, мечты и надежды : материалы Междунар. конф. (26—28 ноября 2007). М. : Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2007. С. 15—25.

3. *Бевзенко Л.Д.* Социокультурные факторы детерминации постнеклассических практик // Постнеклассические практики и социокультурные трансформации : материалы Междунар. междисц. семинара / под общ. ред. О.Н. Астафьевой. М. : МАКС Пресс, 2009. С. 29—35.

4. *Режабек Е.Я.* Синергетические представления и социальная реальность // Синергетическая парадигма: Социальная синергетика : сб. ст. / ред.-сост. О.Н. Астафьева, В.Г. Буданов. М. : Прогресс-Традиция, 2009. С. 37—62.

5. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 № 889 // Официальный интернет-портал Президента РФ. Режим доступа: http://graph.document.kremlin.ru/page.aspx?1563800. Дата обращения: 12.02.2015.

6. Модернизация России: наука, образование, высокие технологии : тезисы выступлений участников II всеросс. конф. по науковедению (15—17 ноября 2010 г.) / сост. А.Э. Анисимова, А.И. Ракитов, М.Н. Русецкая, В.М. Кондратьев, М.В. Сахарова. М. : МГГУ, 2010. 572 с.

7. *Кузык Б.Н., Яковец Ю.В.* Россия—2050: стратегия инновационного прорыва. М. : Экономика, 2004. С. 95—112.

8. *Коровкин А.Г., Ахундова О.В., Долгова И.Н., Климова Н.В., Королев И.Б., Подорванова Ю.А., Полежаев А.В.* Прогноз социально-экономического развития России: программа исследований / Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. М. : Экономика, 2004. С. 13—21.

9. Правители России и развитие строительства / под общ. ред. Т.А. Молоковой. М. : МИСИ—МГСУ, 2012. 295 с.

10. Стратегическое планирование и развитие предприятий : материалы 9-го всеросс. симп. М. : ЦЭМИ РАН, 2008. С. 10—25.

11. *Ансофф И.* Стратегический менеджмент. Классическое издание. СПб. : Питер, 2009. С. 10—20.

12. *Ансофф И.* Новая корпоративная стратегия. СПб. : Питер, 1999. С. 15—30.

13. *Горшков Р.К., Ульянова А.В.* Организационные положения по развитию системы стратегического управления и планирования на строительных предприятиях малого и среднего бизнеса отрасли // Вестник МГСУ. 2011. № 6. С. 146—154.

14. *Поршнев А.Г., Саломатин Н.А.* Управление организацией. М. : ГУУ-М, 2009. С. 8—50.

15. *Виханский О.С.* Стратегическое управление. М. : Изд-во МГУ, 2001. С. 15.

16. Управление в условиях неопределенности / пер. с англ. М. : Альпина Бизнес Букс, 2009. 264 с. (Классика Harvard Business Review)

17. Управление в условиях кризиса / пер. с англ. М. : Альпина Бизнес Букс, 2005. 256 с. (Классика Harvard Business Review)

18. Оздоровление бизнеса / пер. с англ. М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. 172 с. (Классика Harvard Business Review)

Поступила в редакцию в феврале 2015 г.

Об авторе: **Фокина Зоя Титовна** — кандидат философских наук, доцент, доцент кафедры истории и философии, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 123937, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 183-24-10, history@mgsu.ru.

Для цитирования: *Фокина З.Т.* Синергетические сценарии социально-экономического развития России и управление строительством // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 122—132.

Z.T. Fokina

SYNERGETIC SCENARIOS OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF RUSSIA AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

The author examined the variations of Russia's social and economic development in the following years on the basis of synergetic scenarios application method. The first scenario is related to the transformation of Russia into raw material resource base and a source of low-cost labour force for the advanced nations of West and East, the loss of the country›s intellectual and cultural potential. The orientation towards innovative, scientific and technical development in the context of modern, post-industrial, information age is associated with the other scenario of social and economic development of Russia.

The analysis of the successful experience of scientific and technical development of the USA and the USSR economies as a whole, and of the construction industry as one of the important economy directions, is a substantiation for the necessity of new industrialization in Russia, in the context of market and information age. The author advances a statement that Russia in 21st century needs to repeat the positive experience of industrialization and accelerated scientific and technical development of the Soviet Union. The problems facing Russia are construction of innovative industrial projects that meet the requirements of the world standards, implementation of large-scale national programs, advancement towards the information society.

The article emphasizes a thesis about the necessity to manage modern social and economic processes. It focuses the attention of scientists and expert managers on I. Ansoff's new management paradigm.

The article pays special attention to the matters of modeling the changes in the construction industry complex of Russia, which is one of the most important branches of economy. Two alternative scenarios of the most general changes in construction industry are given in it.

Key words: synergetic approach, social and economic development, scenarios of changes, construction complex, construction management.

References

1. Budanov V.G. *Metodologiya sinergetiki v postneklassicheskoy nauke i obrazovanii* [Methodology of Synergetics in Post-Non-Classical Science and in Education]. Moscow, Librokom Publ., 2009, pp. 10—20. (In Russian)

2. Stepin V.S. Samorazvivayushchiesya sistemy i filosofiya sinergetiki [Self-Developing Systems and Philosophy of Synergetics]. *Put' v budushchee — nauka, global'nye problemy, mechty i nadezhdy : materialy Mezhdunarodnoy konferentsii (26—28 noyabrya 2007)* [Path to the Future — Science, Global Issues, Dreams and Hopes: Materials of the International Conference, November 26—28, 2007]. Moscow, Institut prikladnoy matematiki im. M.V. Keldysha RAN Publ., 2007, pp. 15—25. (In Russian)

3. Bevzenko L.D. Sotsiokul'turnye faktory determinatsii postneklassicheskikh praktik [Social and Cultural Factors of Post-Non-Classical Practices Determination]. *Postneklassicheskie praktiki i sotsiokul'turnye transformatsii : materialy Mezhdunarodnogo mezhdistsiplinarnogo seminara* [Post-Non-Classical Practices and Sociocultural Transformations : Materials of International Interdisciplinary Seminar]. Moscow, MAKS Press Publ., 2009, pp. 29—35. (In Russian)

4. Rezhabek E.Ya. Sinergeticheskie predstavleniya i sotsial'naya real'nost' [Synergetic Concepts and Social Reality]. *Sinergeticheskaya paradigma: Sotsial'naya sinergetika : sbornik statey* [Synergetic Paradigm. Social Synergeics : Collection of Articles]. Moscow, Progress-Traditsiya Publ., 2009, pp. 37—62. (In Russian)

5. Ob utverzhdenii prioritetnykh napravleniy razvitiya nauki, tekhnologiy i tekhniki v Rossiyskoy Federatsii i perechnya kriticheskikh tekhnologiy Rossiyskoy Federatsii : Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 7 iyulya 2011 № 889 [On Approval of the Priority Directions of Science, Engineering and Technology Development of the Russian Federation and of Russian Federation Critically Important Technologies List : Decree of the President of the Russian Federation no. 889 of July 7, 2011]. *Ofitsial'nyy internet-portal Prezidenta RF* [Official Internet portal of the President of the RF]. Available at: http://graph.document.kremlin.ru/page.aspx?1563800. Date of access: 12.02.2015. (In Russian)

6. Anisimova A.E., Rakitov A.I., Rusetskaya M.N., Kondrat'ev V.M., Sakharova M.V., compiling editors. *Modernizatsiya Rossii: nauka, obrazovanie, vysokie tekhnologii : Tezisy vystupleniy uchastnikov II vserossiyskoy konferentsii po naukovedeniyu (15—17 noyabrya 2010 goda)* [Modernization of Russia: Science, Education, Technology. Theses of the Speeches of the Participants of the 2nd AII-Russia Conference on Science of Science. November 15—17, 2010]. Moscow, MGGU Publ., 2010, 572 p. (In Russian)

7. Kuzyk B.N., Yakovets Yu.V. *Rossiya—2050: strategiya innovatsionnogo proryva* [Russia—2050: Strategy for an Innovative Breakthrough]. Moscow, Ekonomika Publ., 2004, pp. 95—112. (In Russian)

8. Korovkin A.G., Akhundova O.V., Dolgova I.N., Klimova N.V., Korolev I.B., Podorvanova Yu.A., Polezhaev A.V. Prognoz sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii: programma issledovaniy [Forecast of Social and Economic Development of Russia: Investigation Program]. *Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN* [National Economy Forecasting Institute of the Russian Academy of Sciences]. Moscow, Ekonomika Publ., 2004, pp. 13—21. (In Russian)

9. Molokova T.A., editor. *Praviteli Rossii i razvitie stroitel'stva* [Rulers of Russia and Development of Construction]. Moscow, MISI—MGSU Publ., 2012, 295 p. (In Russian)

10. *Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatiy : materialy 9-go vserossiyskogo simpoziuma* [Strategic Planning and Development of Enterprises. Materials of the 9th AII-Russia Symposium]. Moscow, TsEMI RAN Publ., 2008, pp. 10—25. (In Russian)

11. Ansoff I. *Strategicheskiy menedzhment. Klassicheskoe izdanie* [Strategic Management. Classical Edition]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2009, pp. 10—20. (In Russian)

12. Ansoff I. *Novaya korporativnaya strategiya* [New Corporate Strategy]. Saint Petersburg, Piter Publ., 1999, pp. 15—30. (In Russian)

13. Gorshkov R.K., Ul'yanova A.V. Organizatsionnye polozheniya po razvitiyu sistemy strategicheskogo upravleniya i planirovaniya na stroitel'nykh predpriyatiyakh malogo i srednego biznesa otrasli [Organizational Statements on the Development of Strategic Management and Planning System at Small and Medium Construction Industry Enterprises]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 6, pp. 146—154. (In Russian)

14. Porshnev A.G., Salomatin N.A. *Upravlenie organizatsiey* [Organization Management]. Moscow, GUU-M Publ., 2009, pp. 8—50. (In Russian)

15. Vikhanskiy O.S. *Strategicheskoe upravlenie* [Strategic Management]. Moscow, MGU Publ., 2001, p. 15.

16. *Upravlenie v usloviyakh neopredelennosti* [Management in Uncertainty Conditions]. Translated from English. Moscow, Alpina Business Books Publ., 2009, 264 p. (Harvard Business Review) (In Russian)

17. Upravlenie v usloviyakh krizisa [Management in Crisis Condition]. Translated from English. Moscow, Alpina Business Books Publ., 2005, 256 p. (Harvard Business Review) (In Russian)

18. Ozdorovlenie biznesa [Improvement of Business]. Translated from English. Moscow, Alpina Business Books Publ., 2006, 172 p. (Harvard Business Review) (In Russian)

About the author: **Fokina Zoya Titovna** — Candidate of Philosophic Sciences, Associate Professor, Department of History and Philosophy, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, 129337, Moscow, Russian Federation; +7 (499) 183-24-10; history@mgsu.ru.

For citation: Fokina Z.T. Sinergeticheskie stsenarii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii i upravlenie stroitel'stvom [Synergetic Scenarios of Social and Economic Development of Russia and Construction Management]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 122—132. (In Russian)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 658.7:69

Р.З. Хайруллин
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

СИСТЕМА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Предложена система статистической обработки логистической информации, предназначенная для операционного повышения эффективности бизнеса и развития логистического обеспечения продаж. В основе системы лежат методы статистической обработки информации, оценки и прогнозирования логистических показателей, определения и расчета данных, необходимых для учета, хранения и переработки металлопроката, а также планирования реконструкции и развития существующих складских хозяйств. Представлены результаты апробации системы для логистического проектирования крупных складов металлоторгующих компаний.

Ключевые слова: логистика, информация, складское хозяйство, статистическая обработка, программное обеспечение.

Актуальной для большинства руководителей логистических и торговых компаний является задача операционного повышения эффективности бизнеса и развития логистического обеспечения продаж [1—10]. Под развитием логистического обеспечения продаж понимается разработка и реализация комплекса мероприятий, включающего сроки и перечень работ, направленных на совершенствование складской логистики компании.

Логистическое проектирование складского комплекса включает решение таких задач, как определение количества и видов технологических зон склада, расчет требуемого количества погрузочно-разгрузочных мест, разработка конструкций мест хранения, отбора и предварительной продажной подготовки, разработка спецификаций типов хранения, подбор подъемно-транспортного оборудования, детальное планирование складской логистической системы, создание архитектурно-планировочного решения складского хозяйства, подбор информационно-технологического оборудования и т.д.

Используемые в настоящее время ERP и WMS-системы [11—16] не позволяют решать в полном объеме перечисленные задачи. В связи с этим разработка специализированных программных продуктов [17—19], учитывающих специфику складской торговли, с последующей интеграцией этих программ с системами [12—16] представляется актуальной задачей.

В настоящей работе предлагается специализированное программное обеспечение, предназначенное для решения основных задач логистического проектирования. В основе системы лежат методы статистической обработки информации и принятия решений [1, 20]. Представлены результаты апробации системы в металлоторгующей компании.

© Хайруллин Р.З., 2015

1. Этапы логистического проектирования складского хозяйства. В предлагаемой системе логистическое проектирование складского хозяйства (склада) производится в 3 этапа.

Этап 1. Анализ параметров товаропотока:

металлопрокат, подлежащий хранению и обработке на складе разбивается по группам;

для каждой группы металлопроката определяются весогабаритные характеристики единицы хранения и отгрузки;

определяются условия хранения и соседство на складе с другими группами металлопроката;

устанавливаются основные требования по грузопереработке и определяются технологические ограничения при выгрузке, погрузке и внутрискладским операциям;

устанавливаются планируемые объемы входящего и исходящего грузопотока, его неравномерность на расчетный период.

Этап 2. Расчет логистических параметров склада и технологии товарообработки:

рассчитывается необходимость создания технологических зон склада (разгрузки, приема, хранения, предпродажной подготовки металлопроката) и определяется состав и количество зон;

определяются площади зон и их информационно-технологическое оснащение;

производится расчет необходимого фонда рабочего времени и потребностей в ресурсах при проведении работ по выгрузке, приемке, складированию, внутрискладским работам и отгрузке металлопроката.

Этап 3. Определение последовательности мероприятий по усовершенствованию логистической деятельности склада и сроков их реализации:

перепланировка существующих технологических зон (если необходимо);

изменение/корректировка фронтов складских операций;

построение новых маршрутов движения транспорта по территории склада;

закупка и установка нового технологического оборудования.

2. Методы и алгоритмы анализа параметров товаропотока. Для анализа входящего и исходящего грузопотока используется мультипликативная модель [1, 20]: $Y = T \times S \times E$. Каждый уровень временного ряда представляется как сумма T — трендовой, S — сезонной и E — случайной компонент.

Шаги построения мультипликативной модели.

Шаг 1. Производится выравнивание исходных уровней временного ряда методом скользящей средней.

Шаг 2. Вычисляются оценки сезонной компоненты как частное от деления фактических уровней ряда на центрированные скользящие средние.

Шаг 3. Каждый уровень исходного ряда делится на соответствующие значения сезонной компоненты: $T \times E = Y / S$.

Шаг 4. Определяется трендовая компонента T с использованием метода наименьших квадратов [20].

Шаг 5. Расчет ошибки производится по формуле $E = \sum Y / (T \times S)$.

Шаг 6. Для проверки адекватности полученной модели вычисляется коэффициент детерминации R, а проверка статистической значимости производится по критерию Фишера F [20].

Шаг 7. Вычисляется сезонная составляющая S с использованием индекса сезонности I_c [1, 20], не учитывающего наличие тренда.

Шаг 8. Прогноз по мультипликативной модели строится как комбинация трендовой и сезонной компонент $Y = T \times S$.

3. Определение логистических показателей, учитываемых при хранении и обработке металлопроката. Для оценки и учета различий товарообработки отдельных партий металлопроката применяется АВС-анализ [1], с помощью которого производится разделение товаров на отдельные группы в зависимости от их свойств, частоты обращения к ним, частоты совместного вывоза, объемов вывоза. Полученные данные сводятся в единую кросс-матрицу [1, 20].

В формировании топологии склада (расположения технологических зон, разработки схемы оптимального складирования) основную роль играют:

результаты АВС-анализа;

данные хронометража складских операций;

количество прогнозируемых отгрузок металлопроката по партиям в день;

параметры отгружаемых машин, вес одного подъема, частота обращений бригад к местам хранения, трудоемкость выполнения операций на складе, необходимый фонд рабочего времени;

требуемый ресурс грузоподъемных механизмов для осуществления грузооборота;

основные требования государственных стандартов к местам размещения и хранения металлопроката на складе.

Исходя из этих параметров, решаются также вопросы о необходимости выделения отдельных зон на складе для погрузки отдельных сортаментных групп металлопроката, о регламенте обеспечения этих зон оборудованием и о маршрутах движения транспорта к этим зонам.

Отметим, что задача проведения анализа для зонирования склада — творческая. Она не имеет однозначного решения, так как возможность зонирования конкретного склада зависит от многих факторов, в т.ч. от конфигурации склада, возможности маневра вагонами при подаче на фронт выгрузки, наличия крытых складских площадей, технической оснащенности склада и т.д.

Результаты апробации. Ниже представлены некоторые результаты анализа и прогнозирования материальных потоков металлопроката на складе со средним оборотом около 20000 т в месяц. На основе информации за последние три года строится прогноз на следующие три года. Определяются пиковые значения исследуемого показателя и сроки наступления пиковых значений.

а) Параметры входящего потока. Модель по вагонопотоку в месяц для расчета прогнозов имеет вид

$$T = 75{,}3 + 2{,}1t,$$

где t — порядковый номер месяца. Пиковый прогнозируемый объем вагонопотока в месяц — 343 вагона, или 23957 т металлопроката, ожидается на 35 месяце прогнозируемого периода.

Индекс сезонности I_c, %, [20] приведен в табл. 1.

Табл. 1

I_c	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Входящий поток, %	115	108	103	116	113	108	73	57	79	103	130	95
Отгрузки, %	59	68	90	115	101	107	134	110	103	112	103	98

Коэффициент детерминации $R = 0{,}53$, следовательно, построенная модель объясняет 53 % общей вариации временного ряда [20].

Критерий Фишера $F = 31{,}14$ и $F > F = 4{,}08$, следовательно уравнение регрессии статистически значимо [20].

б) Параметры исходящего потока. Модель по отгрузкам в месяц для расчета прогнозов: $T = 5530{,}5 + 193{,}1t$.

Пиковый объем отгрузок в месяц — 24047 т металлопроката — ожидается на 31 месяце прогнозируемого периода.

Средний вес отгружаемого автомобиля — 10,9 т.

Среднее количество подъемов при отгрузке на одну машину — 6,2.

Средний вес одного подъема — 1,8 т.

Коэффициент детерминации $R = 0{,}88$, следовательно, построенная модель объясняет 88 % общей вариации временного ряда [20].

Критерий Фишера $F = 254{,}08$ и $F > F_{кр} = 4{,}08$, следовательно уравнение регрессии статистически значимо [20].

в) Прогнозирование остатков на складе. Пиковые объемы остатков, рассчитанные на основе уравнения материального баланса, ожидаются в 3, 15 и 27 месяце прогнозируемого периода.

г) Исследование модели количества позиций при отгрузке. Прогнозируемое количество автомашин (а/м) с указанием количества позиций и тенденция изменения этого показателя приведены в табл. 2.

Табл. 2

Количество позиций в а/м (счете)	Количество а/м в месяц	Доля а/м, %	Тенденция, %
1—2	439	25,79	+5,2
3—5	494	29,09	+10,3
6—8	466	27,38	–9,4
9—12	219	12,87	–7,1
Свыше 12	84	4,94	–9,9

В перспективе можно ожидать уменьшения доли отгрузок с большим количеством позиций. Это приведет к сокращению фронта предварительной продажной подготовки и уменьшению фонда рабочего времени.

д) Исследование модели поступления металлопроката по дням месяца. Анализ показал хаотичность характера поступления вагонов в течение месяца.

Поэтому для расчета необходимой емкости фронтов выгрузки вагонов были сформулированы чисто практические выводы:

суточный объем прогнозируемого поступления 10 вагонов;

максимально возможное поступление вагонов за сутки 10 × 2 = 20 вагонов;

возможен простой до 40 % вагонов после выгрузки;

необходимо учесть до 50 % переходящего объема груженых вагонов, выгрузка которых производится с задержкой по объективным причинам, связанным с технологией работы склада.

Итого, вместимость железнодорожных путей на базе должна обеспечивать отстой и маневрирование 29 одновременно находящихся на территории склада вагонов.

д) Некоторые выводы по результатам АВС-анализа. Помимо зонирования склада, проводимого по данным хронометража грузовых операций, в зонах для товаров группы А необходимо обеспечить наличие металлопроката, не обязательно группы А, который отгружается совместно (например, двутавровая балка 20…30 см совместно с листом 10…14 мм, лист 1,5…2 мм совместно с арматурой 10…12 мм и т.д.), что значительно сократит время отгрузки и переездов клиентов с одного грузового участка на другой.

Для товаров группы А необходимо спланировать на складе не только саму зону хранения, но и в пределах зоны провести выделение определенного места хранения под конкретную партию металлопроката, с учетом обязательного обеспечения наличия металлопроката, не обязательно группы А, который продается вместе.

Для товаров групп В и С необходимо планировать только зоны складирования.

Вместимости зон целесообразно планировать на основе прогноза продаж (поступления) и доли объемов по АВС-анализу.

е) К реализации комплекса мер по развитию складского хозяйства. Критические значения показателей и сроки их наступления приведены в табл. 3.

Табл. 3

Показатель	Значение	Сроки
Пиковый объем отгрузки в мес.	24047 т	31 мес.
Пиковый объем вагонопотока	343 шт.	35 мес.
Максимальные остатки на складе	—	3, 15, 27 мес.

К указанным в табл. 3 срокам должны быть реализованы мероприятия по увеличению соответствующих фронтов работ и соответствующих складских ресурсов. При невозможности реализации мероприятий на существующих складских площадях должна быть проведена реконструкция склада с присоединением и развитием новых площадей.

Библиографический список

1. *Сергеев В.И.* Логистика в бизнесе. М. : Инфра-М, 2007. 608 с.

2. *Фразелли Э.* Мировые стандарты складской логистики / пер. с англ. М. : Альпина Паблишер, 2012. 330 с.

3. *Ивакин Е.К.* Логистика капитального строительства в регионе. Ростов-н/Д. : РГСУ, 1997. 210 с.

4. *Жаворонков Е.П.* Эффективность логистики в строительстве : процессы, системы, управление. М. : КИА центр, 2002. 136 с.

5. *Зеленцов Л.Б., Шилов Ю.В.* Логистическое моделирование предпринимательской деятельности в сфере капитального строительства // Рынок и строительство : Ученые записки института экономики и управления / под ред. В.Н. Стаханова. Вып. 1. Ростов-н/Д. : РГСУ, 1997. С. 34.

6. *Bowersox D.J., Closs D.J.* Logistical Management. The Integrated Supply Chain Process. New York : The McGraw-Hill, Companies, inc., 1996. 668 p.

7. *Covie J.J., Bardi E.J., Langlev C.J.* The Management of Business Logistics. 5th ed. St. Paul, MN : West Publishing Co., 1992. 608 p.

8. *Шоль Е., Шумаев В.* Информационное обеспечение логистических технологий // РИСК (Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция). 2006. № 1. С. 12—18.

9. *Тасуева Т.* К вопросу о логистическом потенциале региональной складской логистической системы // РИСК (Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция). 2013. № 2. С. 31—33.

10. *Одесс В., Семенов Н.* От снабжения и сбыта через оптовую торговлю к логистике (Воспоминания ветеранов ИТКОР об истории развития института) // РИСК (Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция). 2012. № 1. С. 647—651.

11. *Филипенко И.А.* Выбор ПО для автоматизации управления // Корпоративные системы. 2001. № 3. С. 21—22.

12. *О'Лири Д.Л.* ERP-системы: выбор, внедрение, эксплуатация. Современное планирование и управление ресурсами предприятия / пер. с англ. М. : Вершина, 2004. 272 с.

13. *Олейник П.П.* Основные стандарты корпоративных информационных систем MPS, MRP, MRP II, ERP, CSRP, ERP II. М. : LAMBERT, 2011. 88 с.

14. *Гайфулин Б.Н., Обухов И.А.* Автоматизированные системы управления предприятиями стандарта ERP/MRPII. М. : Богородский печатник, 2001. 104 с.

15. *Трапуленис Р.* Структура и особенности системы SOLVO.WMS // Корпоративные системы. 2006. № 6. С. 55—58.

16. *Трапуленис Р.* Система SOLVO.WMS // Услуги и цены. 2008. № 18. С. 40—42.

17. *Хайруллин Р.З.* Система оперативного управления складской логистикой металлоторгующих компаний // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 172—178.

18. *Хайруллин Р.З.* Система учета и контроля логистических затрат // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 193—201.

19. *Хайруллин Р.З.* Математическое моделирование развоза грузов по разветвленной сети автодорог // Вестник МГСУ. 2014. № 7. С. 184—191.

20. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. 9-е изд., стер. М. : Высш. шк., 2003. 479 с.

Поступила в редакцию в апреле 2015 г.

Об авторе: **Хайруллин Рустам Зиннатуллович** — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры высшей математики, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, zrk@nm.ru.

Для цитирования: *Хайруллин Р.З.* Система статистической обработки логистической информации // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 133—140.

R.Z. Khayrullin

THE SYSTEM FOR STATISTICAL ANALYSIS OF LOGISTIC INFORMATION

The current problem for managers in logistic and trading companies is the task of improving the operational business performance and developing the logistics support of sales. The development of logistics sales supposes development and implementation of a set of works for the development of the existing warehouse facilities, including both a detailed description of the work performed, and the timing of their implementation.

Logistics engineering of warehouse complex includes such tasks as: determining the number and the types of technological zones, calculation of the required number of loading-unloading places, development of storage structures, development and pre-sales preparation zones, development of specifications of storage types, selection of loading-unloading equipment, detailed planning of warehouse logistics system, creation of architectural-planning decisions, selection of information-processing equipment, etc.

The currently used ERP and WMS systems did not allow us to solve the full list of logistics engineering problems. In this regard, the development of specialized software products, taking into account the specifics of warehouse logistics, and subsequent integration of these software with ERP and WMS systems seems to be a current task.

In this paper we suggest a system of statistical analysis of logistics information, designed to meet the challenges of logistics engineering and planning. The system is based on the methods of statistical data processing.

The proposed specialized software is designed to improve the efficiency of the operating business and the development of logistics support of sales. The system is based on the methods of statistical data processing, the methods of assessment and prediction of logistics performance, the methods for the determination and calculation of the data required for registration, storage and processing of metal products, as well as the methods for planning the reconstruction and development of the existing warehouses. The results of approbation of software for the logistics of designing large warehouses of metal trading companies are given.

Key words: logistics, information, storage facilities, statistical analysis, software.

References

1. Sergeev V.I. *Logistika v biznese* [Logistics in Business]. Moscow, Infra-M Publ., 2007, 608 p. (In Russian)

2. Frazelle E. World-Class Warehousing and Material Handling. McGraw-Hill; 1 edition, 2001, 280 p.

3. Ivakin E.K. *Logistika kapital'nogo stroitel'stva v regione* [Logistics of Major Construction in Regions]. Rostov on Don, RGSU Publ., 1997, 210 p. (In Russian)

4. Zhavoronkov E.P. *Effektivnost' logistiki v stroitel'stve : protsessy, sistemy, upravlenie* [Logistics Performance in Civil Engineering : Processes, Systems, Management]. Moscow, KIA center Publ., 2002, 136 p. (In Russian)

5. Zelentsov L.B., Shilov Yu.V. Logisticheskoe modelirovanie predprinimatel'skoy deyatel'nosti v sfere kapital'nogo stroitel'stva [Logistics Modeling of Business Activity in Major Construction]. *Rynok i stroitel'stvo : Uchenye zapiski instituta ekonomiki i upravleniya* [The Market and Civil Engineering. Scientific Notes of the Institute of Economics and Management]. No. 1. Rostov on Don, RGSU Publ., 1997, pp. 34. (In Russian)

6. Bowersox D.J., Closs D.J. Logistical Management. The Integrated Supply Chain Process. New York, The McGraw-Hill Companies, inc., 1996, 668 p.

7. Covie J.J., Bardi E.J., Langlev C.J. The Management of Business Logistics. 5th ed. St. Paul, MN, West Publishing Co., 1992, 608 p.

8. Shol' E., Shumaev V. Informatsionnoe obespechenie logisticheskikh tekhnologiy [Information Support of Logistic Technologies]. *RISK (Resursy, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsiya)* [RISK (Resources, Information, Supply, Competition]. 2006, no. 1, pp. 12—18. (In Russian)

9. Tasueva T. K voprosu o logisticheskom potentsiale regional'noy skladskoy logisticheskoy sistemy [On the Potential Problem of Regional Warehouse Logistics System]. *RISK (Resursy, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsiya)* [RISK (Resources, Information, Supply, Competition]. 2013, no. 2, pp. 31—33. (In Russian)

10. Odess V., Semenov N. Ot snabzheniya i sbyta cherez optovuyu torgovlyu k logistike (Vospominaniya veteranov ITKOR ob istorii razvitiya instituta) [From Supply and Marketing Through Wholesale to Logistics (Memoirs of the Veterans of ITKOR on the History of Institute Development]. *RISK (Resursy, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsiya)* [RISK (Resources, Information, Supply, Competition]. 2012, no. 1, pp. 647—651. (In Russian)

11. Filipenko I.A. Vybor PO dlya avtomatizatsii upravleniya [Choosing Software for Management Automation]. *Korporativnye sistemy* [Corporate Systems]. 2001, no. 3, pp. 21—22. (In Russian)

12. O'Leary Daniel L. Enterprise Resource Planning Systems. Cambridge University Press, 2000, 232 p.

13. Oleynik P.P. *Osnovnye standarty korporativnykh informatsionnykh sistem MPS, MRP, MRP II, ERP, CSRP, ERP II* [Basic Standards of Corporate Information Systems MPS, MRP, MRP-II, ERP, CSRP, ERP-II]. Moscow, LAMBERT Publ., 2011, 88 p. (In Russian)

14. Gayfulin B.N., Obukhov I.A. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya predpriyatiyami standarta ERP/MRPII* [Automated Enterprise Management Systems of Standard ERP / MRP-II]. Moscow, Bogorodskiy pechatnik Publ., 2001, 104 p. (In Russian)

15. Trapulenis R. Struktura i osobennosti sistemy SOLVO.WMS [Structure and Features of the System SOLVO.WMS]. *Korporativnye sistemy* [Corporate Systems]. 2006, no. 6, pp. 55—58. (In Russian)

16. Trapulenis R. Sistema SOLVO.WMS [System SOLVO.WMS]. *Uslugi i tseny* [Services and Prices]. 2008, no. 18, pp. 40—42. (In Russian)

17. Khayrullin R.Z. Sistema operativnogo upravleniya skladskoy logistikoy metallotorguyushchikh kompaniy [Operational Management System for Warehouse Logistics of Metal Trafing Companies]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 6, pp. 172—178. (In Russian)

18. Khayrullin R.Z. Sistema ucheta i kontrolya logisticheskikh zatrat [The System of Account and Control of Logistics Costs]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 12, pp. 193—201. (In Russian)

19. Khayrullin R.Z. Matematicheskoe modelirovanie razvoza gruzov po razvetvlennoy seti avtodorog [Mathematical Simulation of the Cargoes Delivery on an Extensive Network of Automobile Roads]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 7, pp. 184—191. (In Russian)

20. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [The Probability Theory and Mathematical Statistics]. 9-th edition. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003, 479 p. (In Russian)

About the author: **Khayrullin Rustam Zinnatullovich** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, senior scientific worker, Professor, Department of Higher Mathematics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; zrk@nm.ru.

For citation: Khayrullin R.Z. Sistema statisticheskoy obrabotki logisticheskoy informatsii [The System for Statistical Analysis of Logistic Information]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 133—140. (In Russian)

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

УДК 744:62

А.В. Иващенко, Т.М. Кондратьева*
*НОУ ВПО «СФГА», *ФГБОУ ВПО «МГСУ»*

ПРОЕКТИВНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ НА ПРОЕКТИВОГРАФИЧЕСКИХ ЧЕРТЕЖАХ

Предложена оптимизация компьютерного метода получения новых форм многогранников на базе проективографических чертежей (следовых эпюров). Предлагаемый метод основан на использовании закономерностей, имеющихся между прямыми, входящими в состав чертежа, — известных конфигураций проективной геометрии (полных четырехсторонников, конфигурации Дезарга, конфигураций Паппа и др.). Подробно рассмотрены процедуры анализа проективографического чертежа на наличие в нем конфигураций полного четырехсторонника и конфигураций Паппа.

Ключевые слова: формообразование многогранников, проективографический метод, следовые эпюры, автоматизация, оптимизация, проективные конфигурации, полный четырехсторонник, конфигурация Паппа.

В процессе работы над получением новых многогранных форм проективографическим методом, разработанным В.Н. Гамаюновым [1—4] на основе известных моделей многогранников [5—10], на первом этапе работы требуется рассчитать параметры проективографических чертежей, а затем их построить.

Возможны два подхода к получению проективографических чертежей компьютерным методом. Первый вариант основывается на использовании аппарата аналитической геометрии [11—15]. При этом вначале рассчитываются параметры многогранника (ядра системы плоскостей), затем получают уравнения плоскостей граней этого многогранника и, наконец, получают уравнения прямых — следов плоскостей граней на выбранной эпюрной плоскости. Такой способ на всех стадиях своего применения требует использования алгоритмов арифметики с плавающей точкой, что, с одной стороны, приводит к некоторым потерям точности результатов, и, с другой стороны, большим затратам машинного времени на выполнение этих операций по сравнению с операциями целочисленной арифметики [16].

Другой вариант может основываться на построении проективографического чертежа, используя определенные закономерности, имеющиеся между прямыми, входящими в его состав. Так, например, в любом проективографическом чертеже имеется ряд известных из теории проективной геометрии конфигураций — полные четырехсторонники, конфигурации Дезарга, конфигурации Паппа, конфигурации Паскаля и др. [17—19]. Поскольку состав этих конфигураций инвариантен по отношению к проективным изменениям исходного ядра, то, зная их, можно избежать расчетов при решении уравнений по нахождению прямых проективографического чертежа аналитическим путем, получая их на основании принадлежности к той или иной конфигурации. Таким

© Иващенко А.В., Кондратьева Т.М., 2015

образом можно получить определенный выигрыш как в точности получения результатов, так и в затратах машинного времени. Однако в отличие от первого способа, здесь будет иметь значение последовательность построения прямых, составляющих проективографический чертеж.

Известна роль базовых проективных конфигураций в теоретическом исследовании проективной геометрии. Так, например, конфигурация «полный четырехсторонник» позволяет ввести систему однородных координат на любой проективной плоскости, следовательно, любой проективографический чертеж может быть параметризован с помощью этой конфигурации. Конфигурации Паскаля и Паппа (как вырожденный случай) позволяют рассматривать кривые (коники) на проективографическом чертеже.

Конфигурация Дезарга позволит рассматривать коллинеации и гомологии на проективографическом чертеже. Таким образом, нахождение этих базовых конфигураций существенно обогатит набор методов работы и использования проективографических чертежей.

Рассмотрим подробно процедуру анализа проективографического чертежа на наличие в нем конфигураций полного четырехсторонника.

Поставленная задача решается в несколько этапов. Вначале на некоем проективографическом чертеже определенного типа (в статье рассматривается одноэпюрный вариант 48-гранной октаэдрической системы плоскостей) производится поиск конфигураций (пока что ограничиваемся конфигурациями полного четырехсторонника).

На следующем этапе нужно определить соотношения между найденными конфигурациями. Сначала необходимо найти общие прямые, принадлежащие двум разным конфигурациям, затем — общие пары прямых, если таковые имеются, и, наконец, общие тройки прямых, если таковые имеются.

Полученная информация используется для построения последовательности поэлементного получения проективографического чертежа того же типа с произвольными исходными данными многогранника ядра (очередность построения прямых чертежа).

Наиболее простая из вышеперечисленных конфигураций — полный четырехсторонник, состоящий из шести взаимно пересекающихся линий и семи точек. Разумеется, в наиболее общем случае возможны совпадения двух вершин четырехсторонника, и он становится трехсторонником. Но мы такой вырожденный в проективном смысле вариант рассматривать не будем.

Рассмотрим проективографический чертеж октаэдрического 48-гранника общего положения (рис. 1). Он состоит из 46-и прямых (множество M0). Несмотря на обилие пересекающихся прямых, отыскать конфигурацию полного четырехсторонника непросто.

Для этого необходимо выполнить следующие действия. Рассмотрим все точки проективографического чертежа, степень инцидентности которых не менее трех (в которых пересекаются по меньшей мере три прямые) — множество M1.

Затем будем последовательно перебирать все четверки точек из M1 (кандидаты, подмножество K), такие, что бы любые из трех точек подмножества K не лежали на одной прямой — это найденное подмножество четверок точек назовем M2.

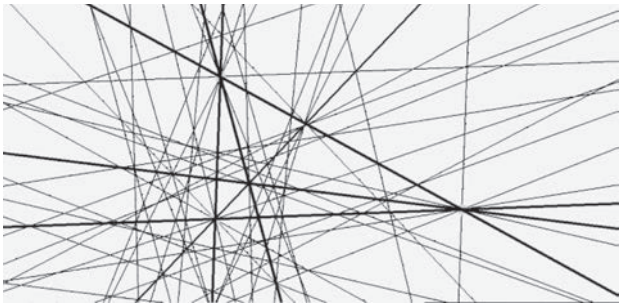


Рис. 1. Проективографический чертеж октаэдрического 48-гранника общего положения

Последовательно рассматривая все элементы M2, будем отбирать из них только такие, у которых любые две точки из четверки инцидентны прямой на проективографическом чертеже. Выбранные в результате этого вторичного прохода элементы и будут составлять множество полных четырехсторонников — множество M3.

Пример одного из таких полных четырехсторонников показан на рис. 1. Следует особо отметить, что на проективной плоскости любые два полных четырехсторонника эквивалентны, но на евклидовой плоскости имеются определенные особенности, приводящие к возможным различиям. Во-первых, приходится считаться с вырожденными случаями (в аффинном смысле, т.е. случаями параллельности противоположных сторон, когда четырехугольник представляет собой трапецию или прямоугольник, или ромб). Во-вторых, в невырожденных случаях имеются два различных варианта взаимного расположения его вершин: 1) когда выпуклая оболочка четырех точек представляет собой четырехугольник; 2) выпуклая оболочка является треугольником, а сам четырехугольник представляет собой невыпуклую фигуру (этот случай как раз и представлен на рис. 1).

Поэтому в дальнейшем множество найденных конфигураций полного четырехсторонника можно проанализировать на количественное соотношение в них конфигураций первого или второго типа.

Конфигурация Паппа состоит из девяти прямых и девяти точек. Поскольку конфигурация сложнее, чем полный четырехсторонник, то алгоритм поиска соответственно усложняется. Назовем множеством P множество из девяти точек и девяти прямых, удовлетворяющих условиям существования конфигурации Паппа. Вырожденные в проективном отношении случаи совпадения точек не рассматриваем. Последовательность алгоритмических шагов для построения конфигурации Паппа следующая:

1) для каждой прямой на проективографическом чертеже составим множество инцидентных точек, степень инцидентности которых не менее трех — получим 46 наборов множеств M2(i), i = 1…46;

2) последовательно рассматриваем каждую пару прямых из M0, и для каждой прямой из этой пары последовательно перебираем все тройки точек из M2(i1) и M2(i2), здесь i1, i2 относятся соответственно к первой и второй выбранным прямым. Анализируем выбранную пару на удовлетворение условию замкнутого шестисторонника, у которого каждая сторона принадлежит мно-

жеству M0, и при этом вершины шестисторонника в чередующемся порядке попеременно принадлежат M2(*i*1) и M2(*i*2). Таким образом последовательно перебираются прямые из M0 в качестве «строительного материала» для шестисторонника;

3) для каждого случая выполнения условия 2 продолжаем проверку кандидата в конфигурацию Паппа — в множестве M1 должны найтись точки, инцидентные всем трем парам пересекающихся противоположных сторон шестиугольника, и если это так, то добавляем все эти точки к множеству *P*. Осталось проверить наличие в M0 прямой, инцидентной полученным точкам пересечений пар противоположных сторон. И если это так, то конфигурация Паппа построена.

Затем можно рассмотреть более сложные конфигурации, в которые входят полные четырехсторонники (например, конфигурации Дезарга), и провести анализ проективографического чертежа на их наличие, но эта отдельная тема будет рассмотрена в соответствующей статье.

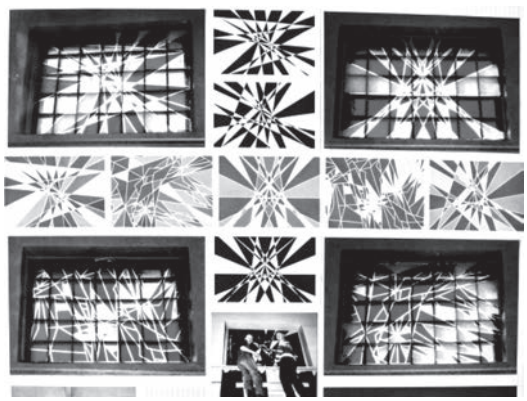


Рис. 2. Элементы декора, разработанные на основе проективографических чертежей

Несмотря на то, что проективографический метод используется в основном как инструмент формообразования трехмерных многогранных объектов [20, 21], возможно также применение непосредственно самих проективографических чертежей в архитектуре и дизайне для создания элементов декора наружных и внутренних стен и витражей (рис. 2).

Библиографический список

1. *Гамаюнов В.Н.* Проективография. Геометрические основы художественного конструирования для аспирантов слушателей ФПК и студентов хужожественно-графического факультета. М. : МГПИ, 1976. 25 с.

2. *Гольцева Р.И.* Геометрия многогранных n-эпюрных систем // Формообразование в строительстве и архитектуре. М. : МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1986. С. 175—223.

3. *Соболев Н.А.* Общая теория изображений. М. : Архитектура-С, 2004. 672 с.

4. *Калиничева М.М., Жердяев Е.В., Новиков А.И.* Научная школа эргодизайна ВНИИТЭ: предпосылки, истоки, тенденция становления : монография. М. : ВНИИТЭ ; Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2009. 368 с.

5. *Венниджер М.* Модели многогранников. М. : Мир, 1974. 236 с.

6. *Залгаллер В.А.* Выпуклые многогранники с правильными гранями // Записки научных семинаров ЛОМИ. М. ; Л. : Наука, 1967. Т. 2. С. 5—221.

7. *Dutch S.* Polihedra wich Regular Poligon Faces. Режим доступа: http://www.uwgb.edu/DUTCHS/symmetry/johnsonp.htm. Дата обращения: 18.11.2014.

8. *Sutton D.* Platonic & Archimedean Solids: the geometry of space/written and illustrated. New York : Walker & Company, 2002. 64 p.

9. *Гурин А.М.* К истории изучения выпуклых многогранников с правильными гранями // Сибирские электронные математические известия. 2010. Т. 7. С. 5—23.

10. *Альсина К.* Мир математики : в 40 т. Т. 23. Тысяча граней геометрической красоты. Многогранники / пер. с исп. М. : Де Агостини, 2014. 144 с.

11. *Иващенко А.В.* Модели представления элементов системы проективографических эпюр и алгоритмы их определения // Молодые голоса : сб. науч.-исслед. работ аспирантов и соискателей. М. : МГОПУ, 2000. Вып. 2. С. 12—19.

12. *Иващенко А.В., Кондратьева Т.М.* Проективографические чертежи многокомпонентных систем многогранников // Вестник МГСУ. 2012. № 6. С. 155—160.

13. *Иващенко А.В., Кондратьева Т.М.* Проективографический анализ многогранников Джонсона // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 226—229.

14. *Иващенко А.В., Кондратьева Т.М.* Автоматизация получения проективографических чертежей тел Джонсона // Вестник МГСУ. 2014. № 6. 179—183.

15. *Иващенко А.В., Знаменская Е.П.* Конфигурация Дезарга в архитектурном и дизайн-проектировании // Вестник МГСУ. 2014. № 9. С. 154—160.

16. *Никулин Е.А.* Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. СПб. : БХВ-Петербург, 2003. 560 с.

17. *Четверухин Н.Ф.* Высшая геометрия. М. : Учпедгиз, 1939. 144 с.

18. *Юнг Дж.В.* Проективная геометрия / пер. с англ. под ред. В.Ф. Кагана. М. : Изд-во иностр. литер., 1949. 184 с.

19. *Хартсхорн Р.* Основы прективной геометрии / пер. с англ. Е.Б. Шабат ; под ред. И.М. Яглова. М. : Мир, 1970. 160 с.

20. *Филин Ю.Н., Веселов В.И., Георгиевский О.В.* Инновационное преобразование формографики кубических моделей в свете решения проблем развития экологически значимых форм // Инновации: перспективы, проблемы, достижения : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (27 мая 2013 г.) / под ред. А.А. Гажура. М. : РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2013. С. 277—282.

21. *Картавцев И.С., Веселов В.И., Георгиевский О.В., Филин Ю.Н.*. Архикуб-изоконструктор трансформации формографики // Экономически эффективные и экологически чистые инновационные технологии : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. М. : РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2013. С. 139—143.

Поступила в редакцию в декабре 2014 г.

Об авторах: **Иващенко Андрей Викторович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры дизайна, **Столичная финансово-гуманитарная академия (НОУ ВПО «СФГА»)**, 109088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 15, ivashchenko_a@inbox.ru;

Кондратьева Татьяна Михайловна — кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой начертательной геометрии и графики, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 183-24-83, grafika@mgsu.ru.

Для цитирования: *Иващенко А.В., Кондратьева Т.М.* Проективные конфигурации на проективографических чертежах // Вестник МГСУ. 2015. № 5. С. 141—147.

A.V. Ivashchenko, T.M. Kondrat'eva

PROJECTIVE CONFIGURATIONS IN PROJECTIVE GEOMETRICAL DRAWINGS

The article focuses on the optimization of the earlier discussed computer method of obtaining new forms of polyhedra based on projective geometry drawings (trace Diagrams).

While working on getting new multifaceted forms by projective geometry methods based on the well-known models of polyhedra on the first stage of the work it is required

to calculate the parameters of projective geometry drawings, and then to build them. This is an often used apparatus of analytical geometry. According to it, at first the parameters of the polyhedron (core system of planes) are calculated, then we obtain the equation of the plane of the face of the polyhedron, and finally we obtain the equations of lines — the next plane faces on the selected curve plane. At each stage of application such a method requires the use of the algorithms of floating point arithmetic, on the one hand, leads to some loss of accuracy of the results and, on the other hand, the large amount of computer time to perform these operations in comparison with integer arithmetic operations.

The proposed method is based on the laws existing between the lines that make up the drawing — the known configurations of projective geometry (complete quadrilaterals, configuration of Desargues, Pappus et al.).

The authors discussed in detail the analysis procedure of projective geometry drawing and the presence of full quadrilaterals, Desargues and Pappus configurations in it.

Since the composition of these configurations is invariant with respect to projective change of the original nucleus, knowing them, you can avoid the calculations when solving the equations for finding direct projective geometry drawing analytically, getting them on the basis of belonging to a particular configuration. So you can get a definite advantage in accuracy of the results, and in the cost of computer time. Finding these basic configurations significantly enriches the set of methods and the use of projective geometry drawings.

Key words: shaping of polyhedrons, projective geometry method, trace diagrams, automation, optimization, projective configurations, full quadrilateral, configuration of Pappus.

References

1. Gamayunov V.N. *Proektivografiya. Geometricheskie osnovy khudozhestvennogo konstruirovaniya dlya aspirantov slushateley FPK i studentov khuzhozhestvenno-graficheskogo fakul'teta* [Projectography. Geometric Foundations of Artistic Design for Postgraduate Students of FPK and Students of Artistic-Graphical Department]. Moscow, MGPI Publ., 1976, 25 p. (In Russian)

2. Gol'tseva R.I. Geometriya mnogogrannykh n-epyurnykh sistem [Polyhedral Geometry of n-Curve Systems]. *Formoobrazovanie v stroitel'stve i arkhitekture: sbornik nauchnykh trudov* [Shaping in Construction and Architecture: Collection of Scientific Works]. Moscow, MISI Publ., 1986, pp. 175—223. (In Russian)

3. Sobolev N.A. *Obshchaya teoriya izobrazheniy* [General Theory of Image] Moscow, Arkhitektura-S Publ., 2004, pp. 489—491. (In Russian)

4. Kalinicheva M.M., Zherdyaev E.V., Novikov A.I. *Nauchnaya shkola ergodizayna VNIITE: predposylki, istoki, tendentsiya stanovleniya : monografiya* [Scientific School of Ergodesign All-Russian Research Institute of Technical Aesthetics: Prerequisites, Origins, Generation Tendency : Monograph]. Moscow, VNIITE Publ., Orenburg, IPK GOU OGU Publ., 2009, 368 p. (In Russian)

5. Vennidzher M. *Modeli mnogogrannikov* [Models of Polyhedra]. Moscow, Mir Publ.,1974, 236 p. (In Russian)

6. Zalgaller V.A. *Vypuklye mnogogranniki s pravil'nymi granyami* [Convex Polyhedra with Regular Faces]. *Zapiski nauchnykh seminarov LOMI* [Records of Scientific Workshops of LOMI]. Moscow-Leningrad, Nauka Publ., 1967, vol. 2, pp. 5—221. (In Russian)

7. Dutch S. Polihedra with Regular Polygon Faces. Available at: http://www.uwgb.edu/DUTCHS/symmetry/johnsonp.htm. Date of access: 18.11.2014.

8. Sutton D. Platonic & Archimedean Solids: the Geometry of Space/Written and Illustrated. New York, Walker & Company, 2002, 64 p.

9. Gurin A.M. K istorii izucheniya vypuklykh mnogogrannikov s pravil'nymi granyami [Background of Study of Convex Polyhedra with Regular Faces]. *Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestiya* [Siberian Electronic News of Mathematics]. 2010, vol. 7, pp. 5—23. (In Russian)

10. Alsina C. *Mir matematiki : v 40 tomakh. Tom 23. Tysyacha graney geometricheskoy krasoty. Mnogogranniki* [The World of Mathematics : in 40 Volumes. Vol. 23. Thousand Faces of Geometrical Beauty. Polyhedrons]. Translated from Spanish]. Moscow, De Agostini Publ., 2014, 144 p. (In Russian)

11. Ivashchenko A.V. Modeli predstavleniya elementov sistemy proektivograficheskikh epyur i algoritm ikh opredeleniya [Representation Models of the System Elements of Project Geometry Diagrams and their Definition Algorithm]. *Molodye golosa: sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot aspirantov i soiskateley* [Young Voices: Collection of Scientific Works of Postgraduate Students and Doctoral Candidates]. Moscow, MGOPU Publ., 2000, no. 2, pp. 12—19. (In Russian)

12. Ivashchenko A.V., Kondrat'eva T.M. Proektivograficheskie chertezhi mnogokomponentnykh sistem mnogogrannikov [Shape Generation by Means of a New Method of Orthographic Representation ("Proektivografiya"): Drawings of Multi-Component Polyhedra]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 6, pp. 155—160. (In Russian)

13. Ivashchenko A.V., Kondrat'eva T.M. Proektivograficheskiy analiz mnogogrannikov Dzhonsona [Analysis of Johnson's Polyhedra Using Projective Geometry Techniques]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 5, pp. 226—229. (In Russian)

14. Ivashchenko A.V., Kondrat'eva T.M. Avtomatizatsiya polucheniya proektivograficheskikh chertezhey tel Dzhonsona [Automatic Receipt of Projective Geometry Drawings of Johnson Bodies]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 6, pp. 179—183. (In Russian)

15. Ivashchenko A.V., Znamenskaya E.P. Konfiguratsiya Dezarga v arkhitekturnom i dizayn-proektirovanii [Configuration of Desargue in Architectural and Design Engineering]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 9, pp. 154—160. (In Russian)

16. Nikulin E.A. *Komp'yuternaya geometriya i algoritmy mashinnoy grafiki* [Geometry and Algorithms for Computer Graphics]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2003, 560 p. (In Russian)

17. Chetverukhin N.F. *Vysshaya geometriya* [Higher Geometry]. Moscow, Uchpedgiz Publ., 1939, 144 p. (In Russian)

18. Young J.W., Veblen O. Projective Geometry. University of Michigan, 1910, 360 p.

19. Hartshorne R. Foundations of Projective Geometry. Ishi Press, 2009, 190 p.

20. Filin Yu.N., Veselov V.I., Georgievskiy O.V. Innovatsionnoe preobrazovanie formografiki kubicheskikh modeley v svete resheniya problem razvitiya ekologicheski znachimykh form [Innovative Transformation of Form Graphics of Cubic Models in Frames of Solving the Problems of Ecologically Essential Forms Development]. *Innovatsii: perspektivy, problemy, dostizheniya : sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Moskva 27 maya 2013 g.)* [Innovations: Prospects, Problems, Achievements : Collection of Works of International Science and Practice Conference (Moscow, May 27, 2013)]. Moscow, REU im. G.V. Plekhanova Publ., 2013, pp. 277— 282. (In Russian)

21. Kartavtsev I.S., Veselov V.I., Georgievskiy O.V., Filin Yu.N. Arkhikub-izokonstruktor transformatsii formografiki [ArchicubeIsoconstructor of Form Graphics Transformation]. *Ekonomicheski effektivnye i ekologicheski chistye innovatsionnye tekhnologii : sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Economically Efficient and Environmentally Friendly Innovative Technologies : Collection of Works of International Science and Practice Conference]. Moscow, REU im. G.V. Plekhanova Publ., 2013, pp. 139—143. (In Russian)

About the authors: **Ivashchenko Andrey Viktorovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Design, **Capital Academy of Finance and Humanities (SFGA)**, 15 Sharikopodshipnikovskaya str., 109088, Moscow, Russian Federation; ivashchenko_a@inbox.ru;

Kondrat'eva Tat'yana Mikhaylovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chair, Department of Descriptive Geometry and Graphics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; grafika@mgsu.ru; +7 (499) 183-24-83.

For citation: Ivashchenko A.V., Kondrat'eva T.M. Proektivnye konfiguratsii na proektivograficheskikh chertezhakh [Projective Configurations in Projective Geometrical Drawings]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 5, pp. 141—147. (In Russian)

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ



Великая Отечественная война в нашей памяти. К 70-летию Победы : альманах / науч. ред. А.А. Волков, Т.А. Молокова ; авт. концепции и сост. Т.А. Молокова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2015. 256 с. ISBN 978-5-7264-1018-0

РЕЦЕНЗИЯ
на книгу «Великая Отечественная война в нашей памяти. К 70-летию Победы», подготовленную на кафедре истории и философии МГСУ под редакцией А.А. Волкова, Т.А. Молоковой

Книга «Великая Отечественная война в нашей памяти. К 70-летию Победы» посвящена проблемам исторической памяти поколений, воспитанию молодежи на героико-патриотических примерах участников Великой Отечественной войны. Автор идеи и составитель альманаха канд. ист. наук, проф. Т.А. Молокова в первой главе рассматривает на основе документальных исторических материалов вклад Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева, правопреемником которого сегодня является Московский государственный строительный университет, в решающую победу советского народа в Великой Отечественной войне. Т.А. Молокова, исходя из сформулированной в тот период правительством страны комплексной задачи, стоящей перед высшей школой, подробно описывает деятельность МИСИ по подготовке строительных кадров в Москве и во время эвакуации в Новосибирске, анализирует вклад ученых вуза в развитие строительной науки и техники в годы войны, приводит данные об участии преподавателей, сотрудников и студентов ведущего строительного вуза в боевых действиях на фронте и работе в тылу.

На основе данных государственных архивов, документальных материалов, различного рода публикаций преподавателями вуза были подготовлены очерки о родственниках — участниках Великой Отечественной войны. Студенты, обработав материалы семейных архивов, используя воспоминания родственников, обращаясь к эпистолярному наследию, разнообразным артефактам, подготовили эссе, повествующие о вкладе отдельно взятой семьи в общее дело Великой Победы.

Непременным достоинством книги является ее огромное воспитательное значение для молодежи. Актуальность ее определяется тем, что в наше время не только за рубежом, но иногда и в России пытаются фальсифицировать итоги Второй мировой и Великой Отечественной войны, принизить вклад СССР в разгром нацизма.

Структура работы продумана и обоснована. Несомненно, издание подобной книги накануне 70-летия Победы в Великой Отечественной войне является огромной заслугой коллектива ее авторов, составителя и научных редакторов.

Работа найдет своего читателя, она предназначена не только для студентов, но и для всех, интересующихся отечественной историей и героическим прошлым, связанным с периодом Великой Отечественной войны.

Считаю, что книга «Великая Отечественная война в нашей памяти. К 70-летию Победы» может быть рекомендована к публикации.

Доктор исторических наук, профессор кафедры истории
РЭУ им. Г.В. Плеханова, заслуженный деятель науки РФ,
почетный работник высшего
профессионального образования РФ Ш.М. Мунчаев

РЕЦЕНЗИЯ
на книгу «Великая Отечественная война в нашей памяти. К 70-летию Победы», научные редакторы А.А. Волков, Т.А. Молокова

Книга «Великая Отечественная война в нашей памяти», подготовленная к знаменательной дате — 70-летию Победы, посвящена вкладу преподавателей, сотрудников и студентов МИСИ им. В.В. Куйбышева в разгром немецко-фашистских захватчиков, об этом идет речь в первой главе работы. На основе документальных материалов, исторических источников автор идеи и составитель Т.А. Молокова в первой главе подробно рассматривает героический путь мисийцев на фронтах, акцентирует внимание читателя на развитии строительной науки и техники в годы суровых испытаний, анализирует работу вуза в Москве и в Новосибирске, куда был эвакуирован институт.

Большой интерес представляют вторая и третья главы, куда вошли подготовленные преподавателями и студентами МГСУ на основе семейных архивов, писем с фронта и других документальных материалов очерки и эссе о личном вкладе родственников в общее дело победы над врагом.

Говоря о воспитательном значении книги, стоит отметить научно обоснованное предисловие, написанное ректором МГСУ, д-ром техн. наук, проф. А.А. Волковым, а также введение и послесловие, подготовленные зав. кафедрой истории и философии МГСУ проф. Т.А. Молоковой.

Издание книги особенно актуально сегодня, так как все чаще приходится сталкиваться с попытками пересмотреть итоги Великой Отечественной войны и принизить роль советского народа в победе над фашизмом.

Рекомендую книгу «Великая Отечественная война в нашей памяти. К 70-летию Победы», научные редакторы А.А. Волков, Т.А. Молокова, к публикации.

Доктор экономических наук, профессор,
зав. кафедрой экономики и управления
в строительстве ФГБОУ ВПО «МГСУ» И.Г. Лукманова

АВТОРАМ

ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ СОПРОВОДИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОФОРМЛЕНИЮ АВТОРСКИХ ОРИГИНАЛОВ СТАТЕЙ

1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Авторам необходимо учитывать, что процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. При этом датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки. *Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются!* Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование **осуществляется через он-лайн систему приема статей Open Journal Systems** на сайте журнала по адресу: submission.vestnikmgsu.ru. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете Open Journal Systems и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Авторы могут направить статью в редакцию только через ресурс **Open Journal Systems**.

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .PDF (или .doc, docx) вместе с файлами отсканированных документов: *экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее — экспертного заключения)* и *анкеты-согласия на публикацию в журнале сообщаемых им личных данных (далее — анкета автора)*.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации — работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования.

Внимание!!! *При загрузке файла статьи для первоначального рассмотрения в редакции в целях соблюдения условий двойного слепого рецензирования автор должен исключить все сведения и какое-либо упоминание авторов статьи из названия файла и самого текста, а также исключить библиографический список. Эти элементы обязательно загружаются в Open Journal Systems отдельно, в соответствующих окнах.*

Также к загружаемой статье может быть приложен файл *отсканированной внешней* (т.е. из сторонней организации) *рецензии* (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи. Сообщение приходит на адрес электронной почты автора из системы Open Journal Systems.

1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи. Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему Open Journal Systems для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале, а также присоединяет к файлу статьи файл с отсканированным *лицензионным договором и актом приемки-передачи статьи*, заполненными и подписанными авторами.

Внимание!!! *В файл окончательного варианта статьи обязательно включаются сведения об авторах и библиографический список*, оформленные в соответствии с требованиями к оформлению авторских оригиналов.

***1.3. Пакет оригиналов сопроводительных документов**, включающий* (1) лицензионный договор и акт передачи статьи (2 экз.), (2) анкету-согласие на публикацию сведений об авторе и (3) экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора через Open Journal Systems (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

Бланки сопроводительных документов и требования к оформлению статей размещены на странице «Авторам» сайта журнала по адресу http://www.vestnikmgsu.ru/index.php/ru/forauthors под соответствующими ссылками:

- **Требования к составу сопроводительных документов и оформлению авторских оригиналов**
- **Анкета автора** (заполняется в электронном виде, потом распечатывается и подписывается авторами)
- **Бланк экспертного заключения для авторов - работников МГСУ** (распечатывается и заполняется вручную)
- **Бланк лицензионного договора с автором и акта приемки-передачи статьи** (распечатывается и заполняется вручную)

2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

Оформление авторского оригинала. Формат листа А4. Поля документа: нижнее — 4,5 см и верхнее — 3,7, см, правое и левое — 3,9 см; расстояние от края до верхнего колонтитула 2,5 см, до нижнего — 3,5 см. Страницы в файле не нумеруются (следует пронумеровать страницы вручную в распечатке статьи, направляемой в редакцию!).

Поскольку журнал официально зарегистрирован как двуязычный, в нем могут быть опубликованы статьи на русском и/или английском языках.

Для статьи, полный текст которой представлен только на русском языке или на русском и английском языках одновременно

Сначала приводятся все материалы на русском языке, затем единым комплексом размещаются все материалы на английском языке.

Ниже последовательно описано оформление всех элементов статьи.

Индекс УДК (Times New Roman 12, normal, интервал 12 пт сверху и снизу, выключка в левый край)

И.О. Фамилия, И.О. Фамилия (имена авторов на русском языке, Times New Roman 12, bold, выключка в левый край)

Название организации (официально принятое сокращенное, Times New Roman 12, Italic, интервалы: 3 пт сверху, 12 пт снизу, выключка в левый край)

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

(Times New Roman 12, Bold, по центру)

Аннотация на русском языке объемом не более 500 символов включая пробелы (Arial 9, Normal, со втяжкой 0,7 см и абзацным отступом 0,7 см, интервал 12 пт сверху).

Ключевые слова: ключевые слова на русском языке (Arial 9, Normal, со втяжкой 0,7 см и абзацным отступом 0,7 см, интервал 12 пт снизу).

Аннотация не должна повторять название, должна быть развернутой и точно отражать содержание: проблематика, методы исследования, результаты.

Набор *ключевых слов* должен включать понятия и термины, упоминаемые в статье и свидетельствующие об актуальности и новизне обсуждаемых исследований и их результатов.

Текст объемом 7—10 страниц (с учетом таблиц, рисунков, сведений об авторах, без учета библиографических списков) должен быть представлен в следующем виде: набран в формате редактора Microsoft Word версии 6 или более поздних; шрифт — Times New Roman 11, normal. Абзацный отступ — 0,7 см. Межстрочный интервал — одинарный. Перенос слов автоматический, не более 4 переносов подряд в одном абзаце. Текст в таблицах и подписи к рисункам — Times New Roman 10, normal. Заголовки таблиц и подписи к рисункам набираются с абзацного отступа 0,7 см.

Табл. 1. Тематическое название таблицы (интервал 6 пт сверху и снизу)

Рис. 1. Тематическое название рисунка (интервалы: 6 пт сверху, 12 пт снизу)

Формулы должны быть набраны в редакторе формул. Шрифт — Times New Roman, устанавливаются размеры шрифта: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 9 и 7 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 15 и 11 пунктов. Цифры, греческие, готические и кириллические буквы набираются прямым шрифтом, латинские буквы для обозначения различных физических величин (A, F, b и т.п.) — курсивом, наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) — прямым, векторы ($\boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{b}$ и т.п.) — жирным курсивом, символы химических элементов на латинице (Cl, Mg) — прямым. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

! Настоятельно рекомендуем авторам ***соблюдать следующие требования при наборе формул*** в текстах статей:

1) пользоваться только редактором формул!

2) пользоваться редактором формул MathType 6;

3) при отсутствии MathType 6 использовать MS Equation 3.0;

4) если вы набираете текст статьи в версии Word MS Office 2010, и у вас не установлена программа MathType 6, НЕ ИСПОЛЬЗУЙТЕ редактор формул, открывающийся по команде «Вставка / Формула» (кнопка со значком «π» на панели быстрого доступа)!

После нажатия «Вставка» выбирайте на панели быстрого доступа «Объект», в выпадающем окне выбирайте тип объекта «Microsoft Equation 3.0» и осуществляйте набор формул в этом редакторе;

5) независимо от длины формулы (но в пределах ширины полосы набора!) набирайте ее целиком, не выходя из редактора формул. В наборе формул не должны чередоваться фрагменты из редактора формул, фрагменты, набранные непосредственно в тексте строки основным шрифтом, и символы, набранные командой «Вставка/Символ»!

Цитирование. Авторы должны представлять полностью оригинальную работу и в случае использования работ или утверждений других авторов должны оформлять их в виде цитат, заключенных в кавычки (цитируемый текст не превышает двух строк) или выделенных в отдельный абзац и набранных другим шрифтом (цитируемый текст составляет несколько строк), сопровождаемых соответствующими библиографическими ссылками.

Для набора цитаты в отдельном абзаце использовать шрифт гарнитуры Arial, 10 пт, Normal.

Перефразирование существенных частей чужих работ (даже с указанием, а тем более без указания авторства), как и иные формы некорректного цитирования, не допускаются. Плагиат во всех формах представляет собой неэтичные действия и неприемлем.

Ссылки на ***упоминаемую (цитируемую)*** *литературу* даются в тексте в виде номера в квадратных скобках [1]. Описание самих источников приводится только в пристатейном библиографическом списке *в порядке упоминания в тексте*, сноски для этого использовать запрещается. Исключение составляют ссылки на официальные документы, законы, постановления, стандарты и т.п., которые лучше приводить в сносках.

Библиографическая запись для списка ссылок на русском языке составляется на основе ГОСТ Р 7.0.5—2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». В библиографический список не следует включать описания произведений, которые в тексте статьи не упоминались!

! Библиографический список должен содержать преимущественно ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов, в первую очередь, статьи, опубликованные за последние 5 лет в рецензируемых, индексируемых в РИНЦ, WoS, Scopus научных периодических изданиях. Не рекомендуется ссылаться на учебники и учебные пособия, научно-популярную литературу, если только они не являются объектом исследования. Необходимо в пристатейном библиографическом списке привести не менее 20 (рекомендуется не менее 25) ссылок на научные статьи из журналов. Следует избегать необоснованного самоцитирования, т.е. избыточного количества ссылок как на собственные работы, опубликованные в разных журналах, так и на работы других авторов, опубликованные в «Вестнике МГСУ».

Если авторов одного произведения более четырех, то с целью их полного учета в базе цитирования в сведениях об ответственности после косой черты необходимо привести всех, избегая использовать формулировку «и др.».

Библиографическую запись на источник, опубликованный в электронной форме, например, статью из электронного научного журнала в сети Интернет, необходимо приводить в полном виде, указывая помимо авторов и названия статьи название журнала, выходные данные выпуска, режим доступа (адрес сайта) и дату обращения к электронному ресурсу.

Набирается библиографический список шрифтом гарнитуры Times New Roman, размером 10 пт. Фамилии и инициалы авторов выделяются курсивом. Библиографическое описание на английском языке англоязычных изданий приводится в оригинальном виде.

Библиографический список

(Times New Roman 10, Bold, по центру, интервал 6 пт сверху, 3 пт снизу)

1. *Голицын Г.С.* Парниковый эффект и изменения климата // Природа. 1990. № 7. С. 17—24. (Times New Roman 10, Normal, абзацный отступ 0,7 см, без интервалов сверху и снизу, фамилии и инициалы авторов выделяются курсивом)

2. *Куликов В.Г., Колесниченко М.П., Гаевец Е.С.* Проектирование технологий конструкционных теплоизоляционных пенокомпозитов // Научно-практический Интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование». 2012. Вып. 1. Режим доступа: http://www.nso-journal.ru. Дата обращения: 29.04.12.

Рисунки следует вставлять в текст статьи сразу после того абзаца, в котором рисунок впервые упоминается. *Оригиналы рисунков* соответствующего размера в формате .jpg или .tif со сжатием и разрешением 300 dpi обязательно должны быть *дополнительно представлены в редакцию в отдельных файлах*. Файлы рисунков нумеруются соответственно номерам рисунков в статье. Принимаются предпочтительно черно-белые рисунки. Все цветные линии на графиках и диаграммах по возможности должны быть заменены черно-белыми различного начертания (пунктирными, тонкими и полужирными и т.п.). Заливку цветом заменять узором (штриховкой и т.п.).

Векторные рисунки CorelDraw (.cdr) версий 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13. Шрифты в кривые не переводить (если шрифт не стандартный, приложить), так как авторская версия и редакционная правка (исправления в надписях на рисунках) не сможет быть перенесена из бумажного экземпляра в электронный.

Растровые рисунки. Для фотографий (черно-белых) — разрешение 300 точек на дюйм (dpi), для цветных фотографий — разрешение 300 точек на дюйм (dpi) CMYK, а для штриховых рисунков (bitmap) — 300 dpi (в программе PhotoShop).

Расширение (формат) для растровых изображений может быть: .tif, .jpg или .bmp.

Не следует вставлять растровые рисунки (в том числе и фотографии) в CorelDraw или Adobe Illustrator — достаточно файлов указанных выше форматов.

Изображения формата .jpg не следует конвертировать в изображения формата .tif, .psd.

! Внимание! Статьи, рисунки к которым предоставлены без соблюдения изложенных требований, к публикации не принимаются или публикуются без иллюстраций (по согласованию с авторами).

Сведения об авторах на русском языке: приводятся последовательно о каждом авторе статьи.

Внимание! Не следует указывать здесь домашний адрес и телефон автора, эти сведения не публикуются (!), их наличие в данном разделе только замедляет обработку материалов статьи!

Об авторах: **фамилия, имя, отчество** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты и номер телефона автора (с указанием кода города) *(от левого края, Times New Roman 10, Normal, для выделенных сведений используется начертание Bold, интервал 12 пт сверху)*;

фамилия, имя, отчество (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и кра-

ткой официально установленной форме, в именительном падеже), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации, адрес электронной почты и номер телефона автор (с указанием кода города) *(абзацный отступ 0,7 см, Times New Roman 10, Normal, для выделенных сведений используется начертание Bold).*

(Далее следуют материалы на английском языке)

И.О. Фамилия, И.О. Фамилия (имена авторов на английском языке, Arial 9, Bold, выключка в левый край, интервал 18 пт сверху, 6 пт снизу)

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ
(Arial 9, Bold, по центру, интервал 6 пт снизу)

Аннотация на английском языке — это не столько перевод русскоязычной аннотации, сколько структурированный реферат объемом не менее 250 слов (при необходимости до 500) (Arial 9, Normal, с втяжкой 0,7 см и абзацным отступом 0,7 см). Реферат должен в емкой форме как можно точнее отражать содержание: включать тему; проблематику (задачи исследования); методы исследования; результаты; выводы.

Key words: ключевые слова на английском языке (заголовок Arial 9, Bold; сами слова — Arial 9, Normal, со втяжкой 0,7 см и абзацным отступом 0,7 см, интервал: 3 пт сверху). Набор ключевых слов должен включать понятия и термины, упоминаемые в статье и свидетельствующие об актуальности и новизне обсуждаемых исследований и их результатов.

References
(заголовок — Arial 9, Bold, интервалы: 6 пт сверху, 3 пт снизу)

1. Beloglazov V.A. *Prichinnyy kompleks prestupnosti: voprosy teorii i metodologii* [Causation Complex of Crimes : Theoretical and Methodological Issues]. Moscow, 2003, 115 p. (In Russian)

2. Dymov D.E. *Pravovye problemy zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii ob othodakh proizvodstva i potrebleniya* [Legal Issues of the Russian Legislation on Production and Consumption Wastes]. Available at: http://waste.com.ua/cooperation/2005/theses/dimov.html. Accessed: Dec 3, 2011. (In Russian)

3. Kudryavtsev V.N., Eminov V.E. *Prichiny prestupnosti v Rossii: Kriminologicheskiy analiz* [Causes of Crimes in Russia: Criminological Analysis]. Moscow, 2006, 112 p. (In Russian)

4. O perechne ob'ektov, podlezhashchikh federal'nomu gosudarstvennomu ekologicheskomu kontrolyu [On the List of Objects of Federal Government Environmental Control]. *Rossiyskaya gazeta* [Russian Newspaper], Oct. 2, 2002. (In Russian)

5. *Gosudarstvo i pravo* [State and Law]. 1997, no. 1, pp. 110—119. (In Russian)

6. Fartyshev V. *Literaturnaya gazeta* [Literature Newspaper]. Dec 25, 1996. (In Russian)

7. Kulikov V.G., Kolesnichenko M.P., Gaevets E.S. Proektirovanie tekhnologiy konstruktsionnykh teploizolyatsionnykh penokompozitov [Design and technologies of structural heat-insulating foam composites]. *Nauchno-prakticheskiy Internet-zhurnal «Nauka. Stroitel'stvo. Obrazovanie»* [Science, construction, education]. 2012, no. 1. Available at: http://www.nso-journal.ru. Accessed: Sept 11, 2012. (In Russian)

Библиографические записи на источники в списке набираются шрифтом гарнитуры Arial 9, Normal, с абзацным отступом 0,7 см, без интервалов сверху и снизу.

Библиографические записи русскоязычных источников выполняются в транслитерации на латинице (авторы, названия произведений, названия журналов и материалов конференций) и в переводе на английский язык (названия произведений, названия журналов и материалов конференций, выходные сведения). *Курсивом выделяются только названия книг, сборников статей, материалов конференций и журналов в транслитерации на латиницу.*

Вместо точки и тире, разделяющих области библиографического описания, следует употреблять точку. Не требуется указывать в квадратных скобках разновидность издания по материальному носителю. Все авторы, независимо от количества, перечис-

ляются в заголовке записи. Не используются косая черта и двойная косая черта. Место издания (город) указывается в полной форме. Следует употреблять знаки препинания так, как показано в примерах.

Для транслитерации на латиницу следует использовать предоставляемые возможности в Интернете: например, сайт Translit.ru (выбрать систему транслитерации BGN).

Для перевода на правильный английский следует обратиться к специалисту-переводчику, ни в коем случае не использовать машинный перевод. Элементы на английском языке (переводы названий статей, книг, журналов) воспроизводятся прямым шрифтом в квадратных скобках […].

Библиографические описания на английском языке англоязычных изданий приводятся в оригинальном виде.

Примеры оформления библиографических ссылок на английском языке см. в пристатейных списках данного выпуска журнала.

Сведения об авторах на английском языке приводятся в полном виде, без сокращений слов. Приводятся официально установленные англоязычные названия организаций и их подразделений. Опускаются элементы, характеризующие правовую форму учреждения (организации) в названиях вузов. Официально принятые сокращенные названия (аббревиатуры) приводятся в скобках после полных наименований.

About the authors: **фамилия, имя, отчество** (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна), адрес электронной почты и номер телефона (с указанием кода города) автора (от левого края, Arial 9, заголовок в р а з р я д к у, для выделенных сведений используется начертание Bold, для остальных сведений Normal, интервал 12 пт от предыдущего текста);

фамилия, имя, отчество (полностью) — ученая степень, ученое звание, должность, подразделение, **название организации** (обязательно приводить в полной и краткой официально установленной форме), в которой работает (учится) автор, почтовый адрес организации (в последовательности: офис, дом, улица, город, индекс, страна), адрес электронной почты и номер телефона (с указанием кода города) автора (абзацный отступ 0,7 см, Arial 9, для выделенных сведений используется начертание Bold, для остальных сведений Normal).

В случае параллельной публикации русско- и англоязычной версий полный текст статьи на английском языке набирается в том же файле или загружается в онлайн систему дополнительным файлом (при загрузке материалов статьи необходимо в окне для дополнительной информации указать на наличие англоязычной версии и желании ее опубликовать одновременно с русскоязычной). Технические требования к оформлению текста аналогичны изложенным выше.

В случае если ***автор предоставляет статью только на английском языке***, он должен придерживаться всех технических требований, изложенных выше, за исключением того, что аннотацию на русском языке необходимо написать в соответствии с требованиями к ее англоязычному варианту. Библиографический список оформляется по изложенным стандартам: описания источников приводятся на языке издания, а затем список повторяется, но все описания на кириллице при этом переводятся на английский и соответствующие их элементы приводятся на латинице.

Материальные носители для предоставления текстов статей. Файлы статей и рисунков к ним должны быть направлены в редакцию через on-line систему приема статей submission.vestnikmgsu.ru

От редакции

Форма № ПД-4

Извещение

УФК по г.Москве (ФГБОУ ВПО «МГСУ», л/с 20736Х29560) КПП 771601001
(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1 (ИНН получателя платежа)
4 0 5 0 1 8 1 0 6 0 0 0 0 2 0 0 0 0 7 9 (номер счета получателя платежа)

в ОТДЕЛЕНИЕ 1 МОСКВА (наименование банка получателя платежа) БИК 0 4 4 5 8 3 0 0 1

КБК 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО 4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель,
май, июнь 2015 г.

(наименование платежа) (номер лицевого счета (код) плательщика)

Кассир

Ф.И.О плательщика

Адрес плательщика

Сумма платежа **3 822** руб. **00** коп. Сумма платы за услуги руб. коп.

Итого руб. коп. «» 20 г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись плательщика

Форма № ПД-4

Квитанция

УФК по г.Москве (ФГБОУ ВПО «МГСУ», л/с 20736Х29560) КПП 771601001
(наименование получателя платежа)

7 7 1 6 1 0 3 3 9 1 (ИНН получателя платежа)
4 0 5 0 1 8 1 0 6 0 0 0 0 2 0 0 0 0 7 9 (номер счета получателя платежа)

в ОТДЕЛЕНИЕ 1 МОСКВА (наименование банка получателя платежа) БИК 0 4 4 5 8 3 0 0 1

КБК 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 3 0

ОКТМО 4 5 3 6 5 0 0 0

Вестник МГСУ - 637.00 руб. х 6 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель,
май, июнь 2015 г.

(наименование платежа) (номер лицевого счета (код) плательщика)

Кассир

Ф.И.О плательщика

Адрес плательщика

Сумма платежа **3 822** руб. **00** коп. Сумма платы за услуги руб. коп.

Итого руб. коп. «» 20 г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись плательщика

Бланк для оплаты полугодовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала http://vestnikmgsu.ru/

Форма № ПД-4

УФК по г.Москве (ФГБОУ ВПО «МГСУ», л/с 20736Х29560) КПП 771601001
(наименование получателя платежа)

7	7	1	6	1	0	3	3	9	1

(ИНН получателя платежа)

4	0	5	0	1	8	1	0	6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7	9

(номер счета получателя платежа)

в ОТДЕЛЕНИЕ 1 МОСКВА БИК | 0 | 4 | 4 | 5 | 8 | 3 | 0 | 0 | 1 |
(наименование банка получателя платежа)

КБК | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 |

ОКТМО | 4 | 5 | 3 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |

И з в е щ е н и е

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2015 г.

(наименование платежа) (номер лицевого счета (код) плательщика)

Кассир

Ф.И.О плательщика

Адрес плательщика

Сумма платежа **6 880** руб. **00** коп. Сумма платы за услуги руб. коп.

Итого руб. коп. «__» 20 г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись плательщика

Форма № ПД-4

УФК по г.Москве (ФГБОУ ВПО «МГСУ», л/с 20736Х29560) КПП 771601001
(наименование получателя платежа)

7	7	1	6	1	0	3	3	9	1

(ИНН получателя платежа)

4	0	5	0	1	8	1	0	6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7	9

(номер счета получателя платежа)

в ОТДЕЛЕНИЕ 1 МОСКВА БИК | 0 | 4 | 4 | 5 | 8 | 3 | 0 | 0 | 1 |
(наименование банка получателя платежа)

КБК | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 |

ОКТМО | 4 | 5 | 3 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |

Вестник МГСУ - 573.34 руб. х 12 экз.
подписка на январь, февраль, март, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь 2015 г.

(наименование платежа) (номер лицевого счета (код) плательщика)

Квитанция

Кассир

Ф.И.О плательщика

Адрес плательщика

Сумма платежа **6 880** руб. **00** коп. Сумма платы за услуги руб. коп.

Итого руб. коп. «__» 20 г.

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен.

Подпись плательщика

Бланк для оплаты годовой подписки через редакцию (оплата в банке).

ВНИМАНИЕ!

Если вы оплатили подписку по форме ПД-4 в банке, то для своевременной отправки вам номеров журнала безотлагательно пришлите копию платежного документа и сообщите ваш адрес с почтовым индексом, Ф.И.О. на e-mail: podpiska@mgsu.ru.

Подписчики — работники МГСУ могут заполнить бланк на свое имя и обратиться в отдел распространения и развития Издательства МИСИ — МГСУ для оформления подписки.

Телефон: (495)287-49-14 (вн. 22-47), podpiska@mgsu.ru.

Подробную информацию о вариантах подписки на «Вестник МГСУ» для физических и юридических лиц смотрите на сайте журнала http://vestnikmgsu.ru/