

Научно-теоретический журнал

Вестник

Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

10

2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. ШУХОВА

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК
БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 10, 2018 год

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова**Главный редактор**

Е.И. Евтушенко, д-р техн. наук, проф.
(БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Зам. главного редактора:

Н.И. Алфимова, канд. техн. наук, доц.
(БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Редакционная коллегия:

А.М. Айзенштадт (САФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск, РФ)

Ю.М. Баженов (НИУ МГСУ, Москва, РФ)

В.С. Богданов (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Деян Благович (Высшая техническая школа по профессиональному образованию в Нише, Ниш, Республика Сербия).

А.Г. Большаков (ИРНИТУ, Иркутск, РФ)

И.Н. Борисов (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

С.М. Братан (СевГУ, Севастополь, РФ)

А.И. Везенцев (НИУ БелГУ, Белгород, РФ)

С.Н. Глаголев (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

П.Г. Грабовый (НИУ МГСУ, Москва, РФ)

А.М. Гридчин (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

А.Н. Давидюк (НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Москва, РФ)

Ю.А. Дорошенко (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Т.А. Дуюн (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

В.Т. Ерофеев (МГУ им. Огарева, Саранск, РФ)

О.Н. Зайцев ((Академии строительства и архитектуры) КФУ им. В.И. Вернадского, Симферополь, РФ)

С.В. Ильвицкая (ГУЗ, Москва, РФ)

А.М. Козлов (ЛГТУ, Липецк, РФ)

С.Н. Леонович (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь)

В.С. Лесовик (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

К.И. Логачев (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

В.С. Мешерин (Дрезденский Технический Университет, Дрезден, Германия)

С.И. Меркулов (КГУ, Курск, РФ)

В.И. Павленко (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Ненад Павлович (Государственный Нишский университет, Ниш, Республика Сербия).

Ю.Е. Пивинский (ООО «Научно-внедренческая фирма «КЕРАМБЕТ-ОГНЕУПОР», РФ, г. Санкт-Петербург)

Е.Э. Потапов (МИРЭА, Москва, РФ)

Л.А. Рыбак (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Л.А. Савин (ОГУ им. И.С. Тургенева, Орел, РФ)

С.В. Семенов (СПбГАСУ, РФ, г. Санкт-Петербург)

Л.А. Сиваченко (Белорусский-Российский университет, Могилев, Республика Беларусь)

К.Г. Соболев (Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин, Милуоки, США)

Г.А. Смоляго (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

В.В. Строкова (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Е.Е. Тарасова (БУКЭП, РФ, Белгород)

В.А. Уваров (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Ханс-Бертрам Фишер (Баухаус-Университет Ваймар, Веймар, Германия)

С.И. Ханин (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

Н.А. Шаповалов (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

М.В. Шубенков (МАРХИ, Москва, РФ)

А.Г. Юрьев (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ)

С.Ф. Яцун (ЮЗГУ, Курск, РФ)

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov**Chief editor**

E.I. Evtushenko, DSc, Prof.
(BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

Deputy of chief editor

N.I. Alfimova, PhD, Assistant Prof.
(BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

Member of editorial board

A.M. Ayzenshtadt (NArFU named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation)

Y.M. Bazhenov (MGUSU, Moscow, Russian Federation)

V.S. Bogdanov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

D. Blagoevich (Higher technical school of professional education in Nish, Republic of Serbia)

A.G. Bol'shakov (INRTU, Irkutsk, Russian Federation)

I.N. Borisov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

S.M. Bratan (SevSU, Stavropol, Russian Federation)

A.I. Vezentsev (BSNRU, Belgorod, Russian Federation)

S.N. Glagolev (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

P.G. Grabovyy (MGUSU, Moscow, Russian Federation)

A.M. Gridchin (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

A.N. Davidyuk (RIRC, Moscow, Russian Federation)

Y.A. Doroshenko (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

T.A. Duyun (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

V.T. Erofeev (MRSU, Saransk, Russian Federation)

O.N. Zaytsev ((Academic Unit) of V.I. Vernadsky CFU, Simferopol, Russian Federation)

S.V. Il'vitskaya (GUZ, Moscow, Russian Federation)

A.M. Kozlov (LSTU, Lipetsk, Russian Federation)

S.N. Leonovich (Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus)

V.S. Lesovik (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

K.I. Logachev (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

V.S. Meshcherin (Technical University of Dresden, Dresden, Germany)

S.I. Merkulov (Kursk State University, Kursk, Russian Federation)

V.I. Pavlenko (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

N. Pavlovich (University of Nish, Nish, Republic of Serbia)

Y.E. Pivinski («KERAMBET-OGNEUPOR», Saint Petersburg, Russian Federation)

E.E. Potapov (MIREA, Moscow, Russian Federation)

L.A. Rybak (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

L.A. Savin (OSU named after I.S. Turgenev, Orel, Russian Federation)

S.V. Sementsov (SPSUACE, Saint Petersburg, Russian Federation)

L.A. Sivachenko (Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus)

K.G. Sobolev (University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, USA)

G.A. Smolyago (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

V.V. Strokov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

E.E. Tarasova (BUCEL, Belgorod, Russian Federation)

V.A. Uvarov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

H.-B. Fischer (Bauhaus-University of Weimar, Weimar, Germany).

S.I. Khanin (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

N.A. Shapovalov (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

M.V. Shubenkov (MARKHI, Moscow, Russian Federation)

A.G. Yur'yev (BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation)

S.F. Yatsun (SWSU, Kursk, Russian Federation)

Адрес редакции:

308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46.

БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 724/4 Гк.

Тел: +7 (4722) 30-99-77

e-mail: VESTNIK@intbel.ru

Официальный сайт журнала:

http://vestnik_rus.bstu.ru

Цели, задачи и редакционная политика журнала

Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата, на соискание ученой степени доктора наук по группам научных специальностей: 05.02.00 – машиностроение и машиноведение; 05.17.00 – химическая технология; 05.23.00 – строительство и архитектура; 08.00.00 – экономические науки.

К рассмотрению и публикации принимаются научные статьи и обзоры по фундаментальным и прикладным вопросам в области строительства, архитектуры, производства строительных материалов и композитов специального назначения, химических технологий, машиностроения и машиноведения, освещающие актуальные проблемы отраслей знания, имеющие теоретическую или практическую значимость, а также направленные на внедрение результатов научных исследований в образовательную деятельность.

Все поступающие материалы проходят научное рецензирование (двойное слепое). Рецензирование статей осуществляется членами редакционной коллегии, ведущими учеными БГТУ им. В.Г. Шухова, а также приглашенными рецензентами – признанными специалистами в соответствующей отрасли знания. Копии рецензий или мотивированный отказ в публикации предоставляются авторам и в Минобрнауки России (по запросу). Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

Редакционная политика журнала базируется на основных положениях действующего российского законодательства в отношении авторского права, плагиата и клеветы, и этических принципах, поддерживаемых международным сообществом ведущих издателей научной периодики и изложенных в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (COPE).

Purposes, tasks and editorial policy of the journal

Scientific and theoretical journal «Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov» is included in the top list of the leading reviewed scientific magazines and editions in which the main scientific results of theses for a degree of the candidate, for a degree of the doctor of science according scientific specialties groups have to be published: 05.02.00 – machine building and engineering science; 05.17.00 – chemical technology; 05.23.00 – construction and architecture; 08.00.00 – economic sciences.

Scientific articles and reviews concerning fundamental and applied questions in the field of construction, architecture, productions of construction materials and composites of a special purpose, chemical technologies, machine building and engineering science covering the current problems of branches of knowledge having the theoretical or practical importance and also directed to introduction of results of scientific research in educational activity are accepted to be considered and published.

All arriving materials undergo scientific reviewing (double blind). Reviewing of articles is carried out by members of editorial board, the leading scientist of BSTU named after V.G. Shukhov and also by invited reviewers – recognized experts in the relevant branch of knowledge. Copies of reviews or motivated refusal in the publication are provided by authors and by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (on demand). Reviews are stored in edition within 5 years.

The editorial policy of the magazine is based on basic provisions of the existing Russian legislation concerning copyright, plagiarism and slander, and the ethical principles maintained by the international community of the leading publishers of the scientific periodical press and stated in the recommendations of Committee of scientific publications ethics (COPE).

Address:

46, Kostyukov str., Belgorod, 308012, Russia
BSTU named after V.G. Shukhov, 724/4.

Тел: +7 (4722) 30-99-77

e-mail: VESTNIK@intbel.ru

journal web-site:

http://vestnik_eng.bstu.ru

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**Логанина В.И., Милькина А.С.**

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ И СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

6

Ерофеев В.Т., Родин А.И., Бочкин В.С., Якунин В.В., Чегодайкин А.М., Казначеев С.В.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

10

Ярцев В.П., Репина Е.И.

ВЛИЯНИЕ НАПОНИТЕЛЕЙ ИЗ АСБОЦЕМЕНТНЫХ ОТХОДОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ БЕТОНОВ

16

Долженко А.В., Наумов А.Е., Шевченко А.В., Стойкович Н.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТИКОТРУБЕТОННОГО ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО КОРОТКОГО СТЕРЖНЯ

23

Нгуен Чонг Чык, Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Булычева А.С., Макарова М.Н.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В МОСТОВОЙ ОПОРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭСТАКАДЫ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

33

Тухфатуллин Б.А., Путеева Л.Е., Григорьев А.И., Раков В.Д.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА СМЕШАННОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЁТА УСИЛЕНИЯ СТАЛЬНОЙ СТРОПИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

43

Синельщиков А.В., Панасенко Н.Н.

ОБОСНОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С УЧЁТОМ ВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

52

Колчунов Вл.И., Никулин А.И., Обернихин Д.В.

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ С УЧЕТОМ НОВЫХ ЭФФЕКТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

64

Синеев А.А.

ОБ УЧЕТЕ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЕТАХ

74

Аверкова О.А., Зайцев О.Н., Крюков И.В., Уваров В.А., Крюкова О.С.

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЙ В КОСМЕТОЛОГИЧЕСКИХ КАБИНЕТАХ

80

Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Лебедева Ю.Д.

МЕТОД СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ПРИДОМОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ МНОГOKВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

90

Горожанкин В.К., Семенов С.В.

СИМУЛЯТОР ОРНАМЕНТА В АРХИТЕКТУРНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

103

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**Черкашина Н.И., Павленко В.И., Сидельников Р.В., Беседин П.В.**

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА С КРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ДИОКСИДОМ КРЕМНИЯ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОТОКА КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

110

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**Сергиев А. П., Макаров А. В., Владимиров А. А., Белов Н. В.**

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

119

Герасимова А.А.

ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ДЛЯ ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА НА ОАО «ВМЗ»

126

Логачев И.Н., Семикопенко И.А., Смирнов Д.В., Беляев Д.А., Ханин С.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАТРУБКА РЕЦИКЛА ВОЗДУХА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЕЗИНТЕГРАТОРА

132

Уральский А.В., Уральский В.И., Сеница Е.В., Шинкарев Л.И., Сажнева Е.А.

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В КАМЕРАХ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОМОЛЬНОГО АГРЕГАТА

138

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**Шлапакова Н.А., Учасева Т.В., Сидорова В.А.**

УЧЕТ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ В АНТИКРИЗИСНОМ УПРАВЛЕНИИ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

144

Селивёрстов Ю.И., Шевченко М.А.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ДОСТУПНЫМ ЖИЛЬЕМ

149

Оспищев П.И.

ОТРАСЛЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ РЫНКА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОМ СЕКТОРЕ

157

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Loganina V.I., Milkina A.S. QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS TAKING INTO ACCOUNT THE MEASUREMENT UNCERTAINTY AND STABILITY OF THE PRODUCTION PROCESS	6
Erofeev V.T., Rodin A.I., Bochkov V.S., Jakunin V.V., Chegodajkin A.M., Kaznacheev S.V. PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CEMENT MODIFIED WITH MINERAL WOOL WASTE	10
Yartsev V.P., Repina E.I. EFFECT OF ASBESTOS WASTE FILLERS ON PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF CEMENT-SAND CONCRETE	16
Dolzhenko A.V., Naumov A.E., Shevchenko A.V., Stoykovich N. NUMERICAL RESEARCHES OF THE STRESSED-STRAINED STATE OF PLASTIC TUBED CONCRETE PIER UNDER CENTRAL COMPRESSION LOAD	23
Nguyen Trong Chuc, Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen O.A., Bulycheva A.S., Makarova M.N. ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF CRACKS IN THE BRIDGE SUPPORT OF THE ROAD OVERPASS IN THE EARLY AGE CONCRETE	33
Tukhfatullin B.A., Puteeva L.E., Grigoriev A.I., Rakov V.D. APPLICATION OF A SPECIAL FINITE ELEMENT OF A MIXED METHOD FOR CALCULATION OF STEEL STRIPE SYSTEM STRENGTHENING	43
Sinel'shchikov A.V., Panasenko N.N. JUSTIFICATION OF SEISMIC STABILITY OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS TAKING INTO ACCOUNT THE WAVE PROPERTIES OF SEISMIC EFFECTS	52
Kolchunov V.I., Nikulin A.I., Obornikhin D.V. WIDTH DISCLOSURE CRACKS OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS OF TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION TAKING INTO ACCOUNT NEW EFFECTS OF RESISTANCE	64
Sineev A.A. ON ACCOUNT OF THE STATE OF STEEL CONSTRUCTION DURING THE CALCULATIONS	74
Averkova O.A., Zaycev O.N., Kryukov I.V., Uvarov V.A., Kryukova O.S. METHODS OF DUST LOCALIZATION IN COSMETOLOGICAL CABINETS	80
Perkova M.V., Vaytens A.G., Lebedeva Y.D. METHOD OF SOCIAL ADAPTATION OF TERRITORY IN MULTI-QUARTER RESIDENTIAL HOUSES	90
Gorzhankin V.K., Semencov S.V. ORNAMENT SIMULACRUM IN THE ARCHITECTURAL EXHIBITION	103

CHEMICAL TECHNOLOGY

Cherkashina N.I., Pavlenko V.I., Sidelnikov R.V., Besedin P.V. CHANGES OF MORPHOLOGY AND THERMOOPTIC CHARACTERISTICS OF COMPOSITE WITH CRYSTALLINE SILICON DIOXIDE AT VACUUM-THERMAL EXPOSURE	110
--	-----

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Sergiev A.P., Makarov A.V., Vladimirov A.A., Belov N.V. ANALYSIS OF HARDNESS TEST METHODS AND PROSPECTS OF IMPROVEMENT	119
Gerasimova A.A. SELECTION OF TEMPERATURE CONDITIONS FOR THICK-PLATE ROLLING MILL AT VYKSA STEEL WORKS	126
Logachev I.N., Semikopenko I.A., Smirnov D.V., Belyaev D.A., Hanin S.I. DETERMINATION OF THE AERODYNAMIC RESISTANCE OF THE AIR RECOVERY PIPE OF THE DEZINTEGRATOR EXPERIMENTAL UNIT	132
Uralskiy A.V., Uralskiy V.I., Sinitsa E.V., Sazhneva E.A. FEATURES OF GRINDING BODIES MOVEMENT IN THE CENTRIFUGAL GRINDING UNIT CHAMBERS	138

ECONOMIC SCIENCE

Shlapakova N.A., Uchaeva T.V., Sidorova V.A. CONSIDERATION OF INTERNAL AND EXTERNAL FACTORS OF BUILDING ENTERPRISE FINANCIAL STABILITY IN CRISIS MANAGEMENT	144
Seliverstov Yu.I., Shevchenko M.A. ECONOMIC MODEL OF PROVIDING POPULATION WITH AVAILABLE HOUSING	149
Ospishchev P.I. INDUSTRY CHARACTERISTICS AND DYNAMICS OF MARKET INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION SECTOR	157

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5bd95a6fa953e6.23106620

^{1,*}Логанина В.И., ²Милькина А.С.¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Россия, 440028, Пенза, ул. Германа Титова, д. 28²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: loganin@mail.ru

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ И СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. Приведены сведения о влиянии состояния производственного процесса производства и неопределенности измерения на принятие решения о годности продукции. Показано на примере производства кирпича, что решение о приемке партии кирпича с учетом неопределенности измерения при нестабильном состоянии процесса производства может быть ошибочным. Рассмотрены три варианта состояния производственного процесса производства кирпича марки 100. Первый вариант – среднее значение предела прочности при сжатии не совпадает с серединой поля допуска, процесс производства характеризуется как нестабильный, второй вариант – среднее значение предела прочности при сжатии не совпадает с серединой поля допуска, характеризуется большим значением разброса показателей по сравнению с первым вариантом и характеризуется как нестабильный процесс, третий вариант – среднее значение предела прочности при сжатии совпадает с серединой поля допуска, характеризуется как стабильный и воспроизводимый процесс. Установлено, что, если процесс производства находится в состоянии статистической управляемости, т.е. стабилен, то с учетом неопределенности измерения марка кирпича остается равной 100. При нестабильном процессе с увеличением значения стандартной неопределенности по типу А решение контролера о идентификации марки кирпича 100 может быть ошибочным.

Статистически стабильный и воспроизводимый процесс позволяет повысить достоверность контроля качества продукции и избежать ошибок при принятии решения о браковке продукции.

Ключевые слова: неопределенность измерения, контроль, достоверность, статистика.

Введение. Целью контроля качества продукции является установление соответствия выпускаемой продукции требованиям, установленным в нормативной документации (НД). Каждый продукт обладает определенными свойствами, характеризующими качество. Если обозначить действительное значение контролируемого параметра через X_i , а предельные значения как $ВД$ – наибольшее допускаемое значение параметра и $НД$ – наименьшее допускаемое значение, то условие годности объекта контроля (изделия):

$$НД \leq X_i \leq ВД$$

Это значит, что годными изделиями считаются те, чьи действительные значения контролируемых параметров, указанные в технических условиях, лежат между наименьшим и наибольшим допускаемыми значениями. Согласно ГОСТ Р 54500.3 -2011 качество результата измерений оценивается и выражается неопределенностью измерения [1, 2, 3]. Неопределенность измерений – параметр, характеризующий раз-

брос значений, которые могли бы быть обосновано приписаны измеряемой величине. Отклонения в результате разбраковки происходят в границах расширенной неопределенности измерения $\pm U_i$.

В связи с этим актуальным является вопрос учета факта неопределенности измерения в выборе принятия решения о годности продукции, особенно вблизи границ поля допуска.

С учетом вышеизложенного, результат измерения i -го показателя качества при контроле продукции имеет вид

$$X_i \pm U_i \quad (1)$$

где U_i – расширенная неопределенность результата измерения; X_i – измеренное значение i -того показателя качества

В [4–8] представлены данные о технологии настройки производственных процессов изготовления бетонных изделий и отмечается, что качественные характеристики изделий и конструкций определяются в числе прочих факторов настройкой технологического процесса производства,

т.е. его статистической стабильностью и воспроизводимостью.

Таким образом, объективность контроля качества изделия зависит от неопределенности результатов измерения и состояния технологического процесса производства. (СИ).

Основная часть. С целью выявления неопределенности результатов измерения U_i , а также статистической нестабильности процесса производства на результаты разбраковки изделий по контролируемому параметру (прочность при сжатии) рассмотрим процесс производства кирпича керамического марки 100 как одного из распространенных видов строительных материалов. Верхний допуск составляет $ВД = 125$ кгс/см², нижний допуск $НД = 100$ кгс/см². Рассмотрим 3 варианта [8].

1 вариант. По результатам контроля выборки среднее значение предела прочности при сжатии не совпадает с серединой поля допуска и составляет $R = 111$ кгс/см², среднеквадратическое отклонение $\sigma = 5,3$ кгс/см², погрешность измерения 1 %.

2 вариант. Среднее значение предела прочности при сжатии не совпадает с серединой поля допуска и составляет $R = 108$ кгс/см², среднеквадратическое отклонение $\sigma = 6,2$ кгс/см², погрешность измерения 1 %.

3 вариант. Среднее значение предела прочности при сжатии совпадает с серединой поля допуска и составляет $R = 112,5$ кгс/см², среднеквадратическое отклонение $\sigma = 4,1$ кгс/см², погрешность средств измерения 1 %.

Расширенная неопределенность результата измерения определяется выражением

$$U(X_i) = ku_c(X_i) \quad (2)$$

где k – коэффициент охвата, равный $k=2$ при $P=0,95$; $u_c(X_i)$ – суммарная неопределенность, определяемая выражением

$$u_c(X_i) = \sqrt{u_A^2(X_i) + u_B^2(X_i)} \quad (3)$$

где $u_A(X_i)$ – стандартная неопределенность по типу А; $u_B(X_i)$ – стандартная неопределенность по типу Б

Расчетные формулы для определения стандартной неопределенности по типу А и по типу Б имеют вид

$$u_A(X_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

по типу Б

$$u_B(X_i) = \frac{\Delta X_i}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения неопределенности измерения при оценке прочности кирпича

№ варианта	Среднее значение, кгс/см ²	Стандартная неопределенность по типу А, $u_A(R)$, кгс/см ²	Стандартная неопределенность по типу Б, $u_B(R)$, кгс/см ²	Суммарная стандартная неопределенность, $u_c(R)$, кгс/см ²	Расширенная неопределенность $U(R)$	$R_i \pm U$
1	111	5,3	0,641	5,33/4,8	10,66/9,6	111 ± 10,66
2	108	6,2	0,624	6,23/5,768	12,46/11,53	108 ± 12,46
3	112,5	4,1	0,65	4,15/3,68	8,3/7,3	112,5 ± 8,3

Примечание. Над чертой приведены значения неопределенности, кгс/см², под чертой – в %.

Результаты расчета свидетельствуют, что, если процесс производства находится в состоянии статистической управляемости, т.е. стабилен (3 вариант), то с учетом неопределенности измерения марка кирпича остается равной 100. При нестабильном процессе (1 и 2 вариант) с увеличением значения стандартной неопределенности по типу А решение контролера о идентификации

марки кирпича 100 может быть ошибочным (2 вариант), т.к. значение прочности при сжатии может быть равным $R = 95,54$ кгс/см²

Выводы. Таким образом, статистически стабильный и воспроизводимый процесс позволяет повысить достоверность контроля качества продукции и избежать ошибок при принятии решения о браковке продукции.

Источник финансирования. Государственная программа Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы, Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 7.5.1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 54500.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009 Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения.
2. ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.
3. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
4. Логанина В.И. Организация статистического приемочного контроля качества строительных изделий и конструкций // Строительные материалы. 2008. № 8. С. 98–99.
5. Логанина В.И. К вопросу о регулировании технологических процессов производства бетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 3-4. С. 42–45.
6. Логанина В.И., Учаева Т.В. К вопросу о системе контроля качества на предприятиях стройиндустрии // Региональная архитектура и строительство. 2010. № 1. С. 31–33.
7. Логанина В.И. Хрусталева Б.Б., Учаева Т.В. Статистическое управление производством строительных изделий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. Т. 1. № 3. С. 65–67.
8. Логанина В.И., Круглова А.Н., Давыдова О.А. Оценка достоверности контроля строительных материалов и изделий с учетом стабильности технологического процесса производства // Известия вузов. Строительство. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 7 (655). С. 77–83.

Информация об авторах

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры управления качеством и технологии строительного производства. E-mail: loganin@mail.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, Пенза, ул. Германа Титова, д. 28.

Милькина Алена Сергеевна, аспирант, инженер кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2018 г.

© Логанина В.И., Милькина М.С., 2018

^{1,*}Loganina V.I., ²Milkina A.S.

¹Penza State University of Architecture and Construction
Russia, 440028, Penza, st. Herman Titov, 28

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: loganin@mail.ru

QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS TAKING INTO ACCOUNT THE MEASUREMENT UNCERTAINTY AND STABILITY OF THE PRODUCTION PROCESS

Abstract. The following data is provided: condition of production process of preparation and measurement uncertainty, which affects the decision-making on product's suitability. The example of brick production reveals that decision to accept batch of bricks with the measurement uncertainty under unstable condition of the production process may be erroneous. Three options of brick's type 100 production process condition are considered. The first option- mean value of compressive strength does not coincide with the middle of the tolerance field, the production process is characterized as unstable. The second option- mean value of compressive strength does not coincide with the middle of the tolerance field, it is characterized by a large scatter in the parameters in comparison with the first alternative and is characterized as unstable process. The third option- mean value of compressive strength coincides with the middle of the tolerance field, it is characterized as stable and reproducible process. It is defined, if the production process is in statistical control (stable)

taking into account the measurement uncertainty, the type of brick remains equal to 100. If the production process is unstable with an increase of type A standard uncertainty value, the controller's decision to identify the brick type 100 can be erroneous. Statistically stable and reproducible process improves the accuracy of quality control and avoids mistakes making decision to reject the product.

Keywords: measurement uncertainty, control, reliability, statistics.

REFERENCES

1. GOST R 54500.1-2011/ISO Guide / IEC 98-1:2009 Uncertainty of measurement. Part 1. Introduction to the guide to uncertainty of measurement.
2. GOST R 54500.3-2011/ISO Guide / IEC 98-3:2008 Uncertainty of measurement. Part 3. The guide to the expression of uncertainty in measurement.
3. GOST R 8.736-2011 state system for ensuring the unity of measurements (GSI). The direct measurement repeated. Methods of processing the measurement results. The main provisions.
4. Loganina V.I. Organization of statistical acceptance quality control of building products and structures. Construction materials, 2008, no. 8, pp. 98–99.
5. Loganina V.I. On the issue of regulation of technological processes of concrete production. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Building, 2009, no. 3–4, pp. 42–45.
6. Loganina V.I., Uchaev T.V. On the issue of the quality control system at the enterprises of the construction industry. Regional architecture and construction, 2010, no. 1, pp. 31–33.
7. Loganin V.I. Khrustaleva B.V. The statistical office of the production of construction products. East-European journal of advanced technologies, 2013, vol. 1, no. 3, pp. 65–67.
8. Loganina V.I., Kruglova A.N., Davydova V.A. O. Evaluation of the reliability of control of building materials and products, taking into account the stability of the process of production. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Building, 2013, no. 7 (655), pp. 77–83.

Received in July 2018

Information about the author

Loganina, Valentina I. DSc, Professor. E-mail: loganin@mail.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. Herman Titov, 28.

Milkina, Alena S. Postgraduate student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Для цитирования:

Логанина В.И., Милькина А.С. Контроль качества строительных материалов и изделий с учетом неопределенности измерения и стабильности технологического процесса производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 6–9. DOI: 10.12737/article_5bd95a6fa953e6.23106620.

For citation:

Loganina V.I., Milkina A.S. Quality control of construction materials and products taking into account the measurement uncertainty and stability of the production process. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 6–9. DOI: 10.12737/article_5bd95a6fa953e6.23106620.

DOI: 10.12737/article_5bd95a707f00e2.65839546

^{1,*}Ерофеев В.Т., ¹Родин А.И., ²Бочкин В.С., ¹Якунин В.В., ¹Чегодайкин А.М.,
¹Казначеев С.В.

¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68

²ООО «Комбинат теплоизоляционных изделий»

*E-mail: AL_Rodin@mail.ru

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Аннотация. Приоритетными направлениями государственной политики в области обращения с отходами являются: максимальное использование исходного сырья и материалов, предотвращение образования отходов и др. В техногенных отходах сосредоточено огромное количество сырьевых материалов. Одним из видов твердых промышленных отходов являются отходы производства минеральной ваты, так называемые «корольки», которые составляют от 15 до 30 % от готовой продукции. Химический и фазовый состав данного вида отхода делает возможным использовать его в качестве активной минеральной добавки при производстве портландцемента. Данная статья посвящена изучению особенностей влияния отходов производства минеральной ваты на процессы гидратационного твердения цементного камня и технологические свойства цементных паст и затвердевших композитов. С позиции обеспечения получения материалов с нормативными и улучшенными свойствами в результате проведенных исследований подтверждена возможность использования отходов производства минеральной ваты в качестве активной минеральной добавки для цемента.

Ключевые слова: портландцемент, физико-механические свойства, отходы производства минеральной ваты, цементные композиты, активная минеральная добавка.

Введение. В России ежегодно образуется около 7 млрд. т промышленных отходов, при этом используется лишь 2 млрд. т или 28 %. Из общего объема используемых отходов около 80 % (вскрышные породы и отходы обогащения) направляются на закладку выработанного пространства шахт и карьеров, 2 % отходов используется в качестве топлива и минеральных удобрений и всего лишь 18 % или 360 млн. т применяются в качестве возвратного сырья (из них 200 млн. т – в стройиндустрии). На территории нашей страны в отвалах и хранилищах накоплено свыше 100 млрд. т твердых промышленных отходов. Сконцентрированные в отвалах и свалках отходы являются источниками загрязнения поверхностных и подземных вод, атмосферы, почвы и растений. При этом изымаются из хозяйственного оборота сотни тысяч гектаров земель. Между тем, в техногенных отходах сосредоточено огромное количество различных сырьевых материалов [1, 2].

Одним из видов твердых промышленных отходов являются отходы производства минеральной ваты, так называемые «корольки», которые составляют от 15 до 30 % мас. от готовой продукции. По данным статистики таких отходов в России скопилось уже около 5-6 млн. м³. Традиционно, работы по утилизации отходов минераловатного производства – «корольков» ведутся по двум направлениям: возврат в производство минеральной ваты в качестве дополнительного источника сырья и получение новых строительных

материалов. Количество «корольков» задействованных по обоим направлениям остается незначительным и не снимает проблемы утилизации. Однако, химический и фазовый состав данного вида отхода делает возможным использовать его в качестве активной минеральной добавки при производстве портландцемента [1, 3].

В связи с чем, целью данной работы было подтверждение возможности использования отхода от производства минеральной ваты в качестве активной минеральной добавки для цемента, а также изучение особенностей влияния отхода на процессы гидратационного твердения цементного камня и технологические свойства цементных паст и затвердевших композитов.

Методология. При проведении исследования использовались следующие материалы:

Портландцементный клинкер (ОАО «Мордовцемент»), химического состава: CaO – 65,21 %, SiO₂ – 21,650 %, Al₂O₃ – 5,54 %, Fe₂O₃ – 3,88 %, SO₃ – 0,24 %, MgO – 1,28 %, K₂O – 1,08 %, Na₂O – 0,396 %, TiO₂ – 0,234, P₂O₅ – 0,227 %, SrO – 0,129 %, MnO – 0,046 %, ZnO – 0,027 %, Cr₂O₃ – 0,011 % и минералогического состава: 3CaO·SiO₂ – 60,3 %, 2CaO·SiO₂-β 17,8 %, 3CaO·Al₂O₃ – 4,5 %, 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ – 15,8 %, Ca(OH)₂ – 0,6 %, CaCO₃ – 0,7 %, MgO – 0,3 %.

Отходы минераловатного производства ООО «Комбинат теплоизоляционных изделий» (г. Саранск), химического состава: CaO – 29,62-29,93 %, SiO₂ – 43,81-43,88 %, Al₂O₃ – 9,13-9,21 %, Fe₂O₃ – 3,73-3,94 %, SO₃ – 0,23-0,24 %, MgO – 8,33-

8,43 %, K_2O – 0,71-0,72 %, Na_2O – 1,33-1,37 %, TiO_2 – 0,46-0,47 %, P_2O_5 – 0,03-0,04 %, SrO – 0,07 %, MnO – 0,16 %, ZnO – 0,002 %, Cr_2O_3 – 0,01 %, ППП – 1,8 % и минералогического состава: $\beta-SiO_2$ – 5,0 %, $Ca_2Al_2SiO_7$ – 1,2 %, $Ca_2MgSi_2O_7$ – 23,8 %, Аморфная фаза – 70,0 % (для отходов фракции больше 0,63 мм) и $\beta-SiO_2$ – 5,6 %, $Ca_2Al_2SiO_7$ – 3,4 %, $Ca_2MgSi_2O_7$ – 1,0 %, Аморфная фаза –

90,0 % (для отходов фракции меньше 0,63 мм). Форма частиц отходов разных фракций представлена на рис. 1, согласно которому видно, что отходы минераловатного производства содержат частицы «королька» размером менее 0,5 мм, агрегаты и свары. В дальнейшей работе использовались отходы фракции меньше 0,63 мм, состоящие в основном из аморфной фазы.

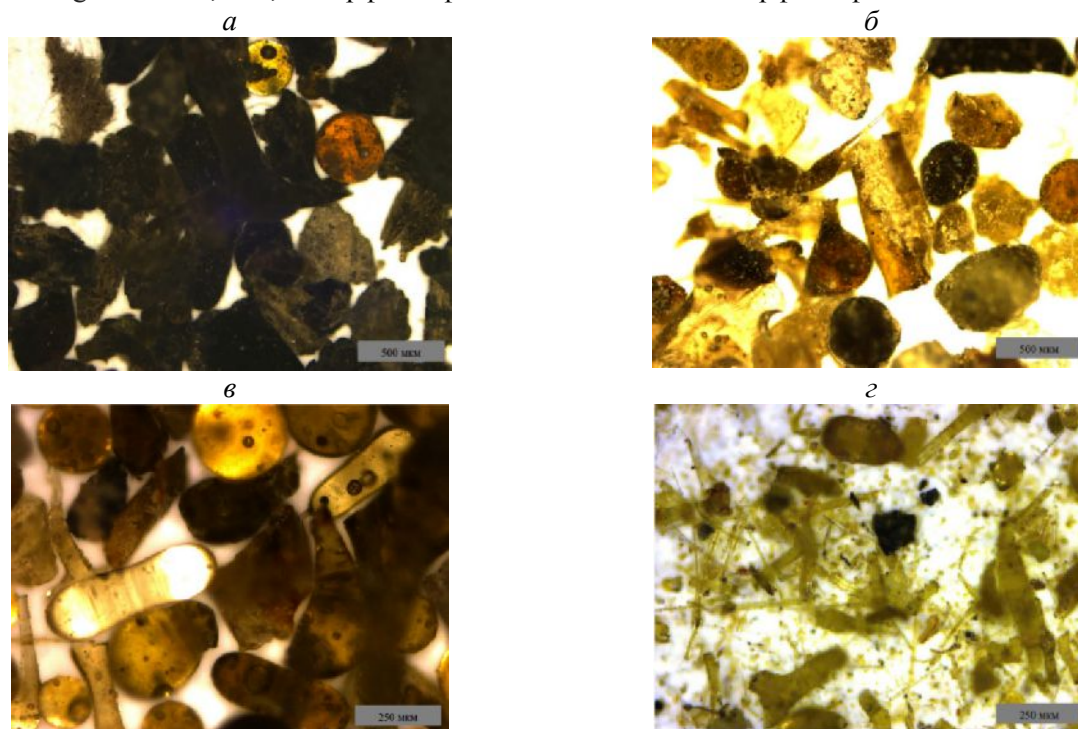


Рис. 1. Форма частиц отходов производства минеральной ваты ООО «Комбинат теплоизоляционных изделий» (г. Саранск) фракций: а – 0,63–1,25; б – 0,315–0,63; в – 0,16–0,315; г – поддон

Модифицированный цемент получали смешиванием портландцемента с размолотыми до удельной поверхности 2 900–3 000 cm^2/g отходами производства минеральной ваты.

В работе исследовались основные технологические свойства цементных композиций: нормальная густота, сроки схватывания, равномерность изменения объема и водоотделение. Нормальная густота, и сроки схватывания цементного теста, а также равномерность изменения объема цементного камня определялись в соответствии с ГОСТ 310.3-76, а водоотделение в соответствии с ГОСТ 310.6-85. Также в работе исследованы прочностные характеристики цементного камня, модифицированного отходами производства минеральной ваты, полученного из теста нормальной густоты, и твердевшего в нормально-влажностных условиях. Исследования проводились на образцах с размерами $2 \times 2 \times 2$ см. За окончательный результат принималось среднеарифметическое значение не менее 10 образцов.

Основная часть. Цемент является уникальным строительным материалом, на свойства которого влияют не только физико-химический

особенности самого вяжущего, но содержание и качество применяемых сопутствующих материалов (вода, песок, добавки и др.) [4–10]. Ниже представлены технологические свойства цементных композиций, модифицированных отходами производства минеральной ваты и физико-механические показатели композитов на их основе.

Нормальную густоту цементного теста определяют путем установления необходимого количества воды для затворения цемента. Другими словами, это водоцементное отношение в процентах, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста. Данное свойство напрямую зависит от химико-минералогического состава клинкера, удельной поверхности цемента, содержания и особенностей добавок в нем и многих других факторов [11].

В результате проведенных исследований нормальной густоты цементного теста, модифицированного отходами производства минеральной ваты, установлено, что с увеличением в цементе количественного содержания данной добавки нормальная густота цементного теста уменьшается прямопропорционально с 28,5 %

(без добавки) до 25 % (с 40 % содержанием добавки от массы цемента). Все говорит о положительном влиянии отходов производства минеральной ваты на нормальную плотность цементного теста.

Изготовление новых видов цементов не приемлемо без учета требований существующих технологий производства. Для некоторых материалов необходимы цементы, твердение которых начинается не ранее двух часов после затворения (дорожные покрытия), другим не ранее 30 минут (декоративные покрытия) [12, 13].

В практике производства цементов, а также растворов и бетонов на его основе известно множество способов, способствующих ускорению или замедлению схватывания цемента (путем регулирования химико-минералогического состава цемента, изменением его удельной поверхности, введением добавок замедлителей и ускорителей схватывания) [4].

В результате проведенных исследований установлено, что содержание отходов производства минеральной ваты в цементе практически не сказывается на сроки схватывания цементного теста нормальной плотности.

Известно, что цементный камень не имеет постоянного объема при гидратации. При разной влажности цементные композиты могут разбухать либо давать усадку, зачастую не видимую невооруженным глазом. Данный процесс приводит к искривлению граней строительных изделий, либо появлению волосяных трещин. Химизм данного явления достаточно подробно описан исследователями [11–16].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о допустимом изменении объема цементного камня, модифицированного от 5 % до 40 % от массы цемента отходами производства минеральной ваты.

Водоотделение характеризует количество воды, отделившейся при расслоении цементного теста вследствие осаждения частиц цемента. Механизм негативного действия данного явления объясняется образованием тонкой водной прослойки между последовательно укладываемыми слоями бетона, продуктами гидратации цемента и крупным заполнителем, а также арматурой, что препятствует получению однородного раствора и бетона и, как следствие, приводит к снижению прочности конечного продукта. Еще одно негативное влияние данного свойства цемента на бетонную и растворную смесь связано с их расслаиванием, что приводит к усложнению мероприятий по обеспечению транспортирования однородных смесей [4, 11].

Современная практика производства цемента предлагает несколько способов понижения

его водоотделения: повышением тонкости помола, увеличением содержания в цементе C_3A , введением добавок (трепела, глины, бентонита и других). Однако не все вводимые добавки одинаково снижают водоотделение цемента [11].

Влияние содержания отходов производства минеральной ваты на водоотделение цемента представлено на рис. 2.

Согласно данным, представленным на рис. 2, водоотделение цемента увеличивается при увеличении содержания в нем отходов производства минеральной ваты с 2,3 % (без добавки) до 10,8 % (с 40 % содержанием добавки от массы цемента). Все составы отвечают требованиям действующих нормативных документов (водоотделение не превысило 25 %), что также говорит о пригодности использования отходов производства минеральной ваты в качестве добавок для цемента.

Прочность является наиболее важным физико-механическим свойством цемента, которое в первую очередь повлияет на прочностные характеристики растворов и бетонов, изготовленных из него. Многие исследователи приводят разные факторы определяющие прочность цементного камня: состав и микроструктура клинкера, количество гипса, удельная поверхность цемента, в/ц отношение, условия твердения, возраст, количество и характер вводимых добавок и др. [4, 11–13]. Технология производства различных строительных материалов, изделий и конструкций на основе цементных вяжущих характеризуется потребностью в цементах с разным классом по прочности.

Влияние количественного содержания отходов производства минеральной ваты на прочность при сжатии цементного камня представлено на рис. 3.

Согласно полученным данным, прочность цементного камня, модифицированного отходами производства минеральной ваты в количестве 5–10 % от массы цемента, увеличивается к 28 суткам твердения на 5–7 % по сравнению с контрольным составом. Дальнейшее увеличение содержания отходов в цементе приводит к незначительному снижению прочности при сжатии. Однако это не соизмеримо с экономической выгодой от большей степени наполнения цемента отходами минераловатного производства. К примеру, прочность цементного камня, модифицированного отходами производства минеральной ваты в количестве 40 % от массы цемента, уменьшается всего на 12 %, что делает возможным получение класса цемента по прочности равного классу рядового цемента, но при этом заменить 40 % клинкера дешевым сырьем.

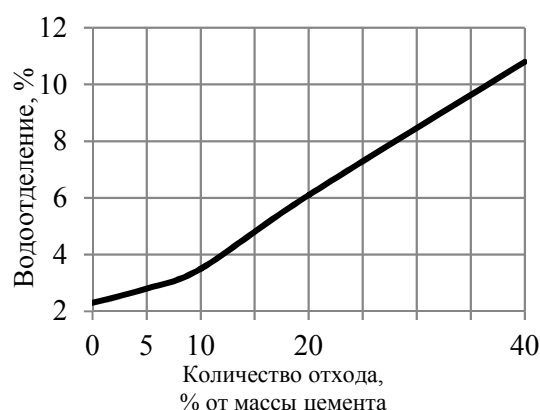


Рис. 2. Влияние содержания отходов производства минеральной ваты на водоотделение цемента

Выводы. С позиции обеспечения получения материалов с нормативными и улучшенными свойствами в результате проведенных исследований подтверждена возможность использования отходов производства минеральной ваты в качестве активной минеральной добавки для цемента, а также установлено рациональное содержание составляющих компонентов в цементе.

Источник финансирования. Грант Президента Российской Федерации МК-6416.2018.3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Вдовина Е.В. Получение керамического кирпича на основе бейделлитовой глины и отходов минеральной ваты : дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2011. 166 с.
2. Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. М.: Стройиздат. 1990. 352 с.
3. Нефедова И.Н., Крашенинникова Н.С., Гарбер Е.Г. Отходы производства минеральной ваты как техногенное сырье // Химия и химическая технология неорганических веществ и материалов : материалы Третьей науч. Конф. Томск : Изд-во Томского политех. ун-та, 2011. С. 33–34.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
5. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Балатханова Э.М., Митина Е.А., Емельянов Д.В., Родин А.И., Карпушин С.Н. Получение и физико-механические свойства цементных композитов с применением наполнителей и воды затворения месторождений чеченской республики // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 141–151.
6. Ерофеев В.Т., Калашников В.И., Смирнов В.Ф., Карпушин С.Н., Родин А.И., Красноглазов А.М., Челмакин А.Ю. Стойкость цементных композитов на биоцидном портландцементе с активной минеральной добавкой в условиях воздействия модельной среды бактерий // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 1. С. 11–17.

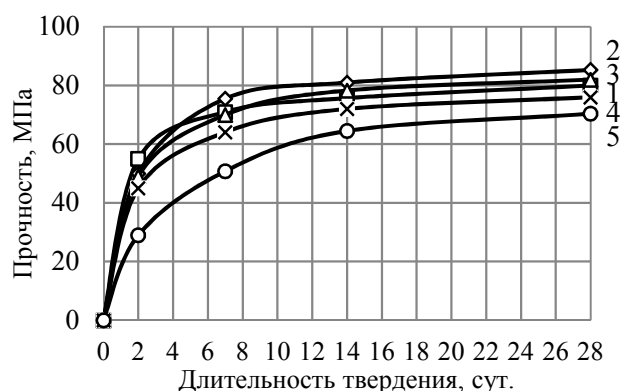


Рис. 3. Кинетика набора прочности цементов при сжатии, модифицированных отходами производства минеральной ваты в процентах от массы цемента:
1 – 0 %, 2 – 5 %; 3 – 10 %, 4 – 20 %, 5 – 40 %

7. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф., Светлов Д.А. Физико-механические свойства и биостойкость цементов, модифицированных серноокислым натрием, фтористым натрием и полигексаметиленгуанидин стеаратом // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 7. Тула : Изд-во ТулГУ, 2012. Ч. 2. С. 292–309.

8. Родин А.И. Разработка биоцидных цементов и композитов на их основе : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2013. 24 с.

9. Родин А.И., Ерофеев В.Т., Пустовгар А.П., Еремин А.В., Пашкевич С.А., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Адамцевич А.О. Кинетика набора прочности биоцидных цементов // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 88–97.

10. Родин А.И., Карпушин С.Н., Боциев Б.В., Балатханова Э.М., Смирнов В.Ф., Ерофеев В.Т. Повышение биостойкости цементных композитов с помощью препарата «Ультрадез-Био» // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-9. С. 1946–1950.

11. Рояк С.М., Рояк Г.С. Специальные цементы : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1983. 279 с.

12. Тейлор Х. Химия цемента: пер. с англ. М.: Мир, 1996. 560 с.

13. Теория цемента. Под ред. А. А. Пашенко. К.: Будівельник, 1991. 168 с.

14. Jansen D., Goetz-Neunhoeffler F., Lothenbach B., Neubauer J. The early hydration of Ordinary Portland Cement (OPC): An approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD // Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. Pp. 134–138.

15. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S., Rodin A., Smirnov V., Smirnova O., Moroz M., Rimshin V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active mineral additive // Solid State Phenomena. 2016. Vol. 871. Pp. 28–32.

16. Erofeev V., Korotaev S., Bulgakov A., Tretiakov T., Rodin A. Getting Fired Material with Vitreous Binder Using Frame Technology // Procedia Engineering. 2016. Vol. 164. Pp. 166–171.

Информация об авторах

Ерофеев Владимир Трофимович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных материалов и технологий. E-mail: AL_Rodin@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Родин Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: AL_Rodin@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Бочкин Виктор Семенович, кандидат технических наук, генеральный директор. E-mail: sovelitnew@mail.ru. ООО «Комбинат теплоизоляционных изделий». Россия, 430006, Республика Мордовия, г. Саранск, Северо-восточное шоссе, 3.

Якунин Владислав Васильевич, аспирант кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: vladisjakunin@yandex.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Чегодайкин Алексей Михайлович, магистрант кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: chegoday1@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Казначеев Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Поступила в июле 2018 г.

© Ерофеев В.Т., Родин А.И., Бочкин В.С., Якунин В.В., Чегодайкин А.М., Казначеев С.В., 2018

^{1,*}Erofeev V.T., ¹Rodin A.I., ²Bochkin V.S., ¹Jakunin V.V., ¹Chegodajkin A.M.,
¹Kaznacheev S.V.

¹National Research Mordovia State University.
Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68

²LLC "Plant of thermal insulation products"
Russia, 430006, Saransk, Severo-vostochnoye highway, 3
*E-mail: AL_Rodin@mail.ru

PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CEMENT MODIFIED WITH MINERAL WOOL WASTE

Abstract. The policy of waste management such as use of raw materials and waste minimization are priority directions for a state. A wide range of raw materials is concentrated in the man-made waste. One type of solid industrial waste, the waste of mineral wool production, so-called "korolki", constitutes from 15 % to 30 % of end products. The chemical and phase composition of this type allows using it as an active mineral additive in the production of Portland cement. The article is devoted to the influence of mineral wool production waste on the processes of hydration hardening of cement, technological properties of cement pastes and solidified composites. In the context of ensuring the production of materials with regulatory and improved characteristics, the possibility of using mineral wool wastes as an active mineral additive for cement is proved.

Keywords: Portland cement, physical and mechanical properties, production waste of mineral wool, cement composites, active mineral additive.

REFERENCES

1. Vdovina E.V. Production of ceramic bricks based on beidelite clay and mineral wool waste: dis. ... Cand. tech. sciences. Samara, 2011. 166 p.
2. Palgunov P.P., Sumarokov M.V. Disposal of industrial waste. M.: Build-up. 1990, 352 p.
3. Nefedova I.N., Krashenninnikova N.S., Garber E.G. Waste from the production of mineral wool as man-made raw materials. Chemistry and chemical technology of inorganic substances and materials: materials of the Third Scientific. Conf. Tomsk: Tomsk Polytechnic Publishing House. University, 2011, pp. 33–34.

4. Bazhenov Yu.M. Concrete technology: studies. allowance. M.: High School, 1987, 415 p.

5. Erofeev V.T., Bazhenov Yu.M., Balathanova E.M., Mitina E.A., Emelyanov D.V., Rodin A.I., Karpushin S.N. Obtaining and physico-mechanical properties of cement components-Zites using fillers and mixing water from the Chechen Republic's deposits. Vestnik MGSU, 2014, no. 12, pp. 141–151.

6. Erofeev V.T., Kalashnikov V.I., Smirnov V.F., Karpushin S.N., Rodin A.I., Krasnoglazov A.M., Chelmakin A.Yu. Resistance of cement composites on biocidal portland cement with active mineral additive under the influence of the model environment of bacteria. Industrial and civil construction, 2016, no. 1, pp. 11–17.

7. Erofeev V.T., Rodin A.I., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V., Smirnov V.F., Svetlov D.A. Physico-mechanical properties and bio-resistance of cements modified with sulfuric acid cheese, sodium fluoride and polyhexamethylene guanidine stearate // Izves-tiya TSU. Technical science. Issue 7, Tula: Publishing House of the TSU, 2012, Part 2, pp. 292–309.

8. Rodin A.I. Development of biocidal cement and composites based on them: author. dis. ... Cand. tech. sciences. Saransk, 2013, 24 p.

9. Rodin A.I., Erofeev V.T., Pustovgar A.P., Er-emin A.V., Pashkevich S.A., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V., Adamtsevich A.O. Kine-tika set of

strength of biocidal cements. Vestnik MGSU, 2014, no. 12, pp. 88–97.

10. Rodin A.I., Karpushin S.N., Botsiev B.V., Balatkhanova E.M., Smirnov V.F., Erofeev V.T. Increasing the biostability of cement composites with the help of Ul-trade-z-Bio preparation. Fundamental research, 2014, no. 9-9, pp. 1946–1950.

11. Royak S.M., Royak G.S. Special Cements: studies. manual for universities. 2nd ed., Pererab. and add. M.: Stroyizdat, 1983, 279 p.

12. Taylor H. Cement Chemistry: Per. from English Moscow: Mir, 1996, 560 p.

13. The theory of cement. Ed. A.A. Pa-shchenko. To.: Budivelnik, 1991. 168 p. 14. Jansen D., Goetz-Neunhoeffler F., Lothenbach B., Neubauer J. The early hydration of Ordinary Portland Cement (OPC): An approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD. Cement and Concrete Research, 2012, vol. 42, pp. 134–138.

15. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S., Rodin A., Smirnov V., Smirnova O., Moroz M., Rimshin V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active mineral additive. Solid State Phenomena, 2016, vol. 871, pp. 28–32.

16. Erofeev V., Korotaev S., Bulgakov A., Tretiakov T., Rodin A. Getting Fired Material with Vitreous Binder Using Frame Technology. Procedia Engineering, 2016, vol. 164, pp. 166–171.

Information about the authors

Erofeev, Vladimir T. DSc, Professor. E-mail: AL_Rodin@mail.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68.

Rodin, Aleksandr I. PhD, Associate Professor. E-mail: AL_Rodin@mail.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68.

Bochkin, Viktor S. PhD. E-mail: sovelitnew@mail.ru. LLC "Plant of thermal insulation products". Russia, 430006, Saransk, Severo-vostochnoye highway, 3.

Jakunin, Vladislav V. Postgraduate student. E-mail: vladisjakunin@yandex.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68.

Chegodajkin, Aleksey M. Master student. E-mail: chegoday1@mail.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68.

Kaznacheev, Sergey V. PhD, Assistant professor. E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, Bolshevistskaya St., 68.

Received in July 2018

Для цитирования:

Ерофеев В.Т., Родин А.И., Бочкин В.С., Якунин В.В., Чегодайкин А.М., Казначеев С.В. Физико-механические свойства цементов, модифицированных отходами производства минеральной ваты // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 10–15. DOI: 10.12737/article_5bd95a707f00e2.65839546

For citation:

Erofeev V.T., Rodin A.I., Bochkin V.S., Jakunin V.V., Chegodajkin A.M., Kaznacheev S.V. Physico-mechanical characteristics of cement modified with mineral wool waste. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 10–15. DOI: 10.12737/article_5bd95a707f00e2.65839546

DOI: 10.12737/article_5bd95a711c3155.64686740

¹Ярцев В.П., ^{1,*}Репина Е.И.¹Тамбовский государственный технический университет

Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Д

*E-mail: rep-ka@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ АСБОЦЕМЕНТНЫХ ОТХОДОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. Предложено использовать в качестве наполнителя цементно-песчаных бетонов асбоцементные отходы из строительных изделий и конструкций. Асбоцементные отходы в качестве наполнителей бетонов используются ограничено. При этом основная их часть утилизируется в отвалы, что приводит к загрязнению окружающей среды. Отходы боя шифера и асбоцементных труб разделялись по фракциям 0...5, 10...20 и 20...40 мм. Изучалось влияние асбоцементных отходов на основные физико-механические свойства и долговечность цементно-песчаных бетонов. Установлены оптимальные концентрации и размер зерен наполнителей. Определены значения прочности, предельного водопоглощения и долговечности при заданных параметрах эксплуатации цементно-песчаных бетонов. Изучалось влияние жидких активных добавок на долговечность и морозостойкость бетонов. В качестве активных добавок использовались поливинилацетатный клей (ПВА) и силикат натрия. Разработаны составы бетонов с наиболее высокими эксплуатационными характеристиками. Проведены длительные механические испытания этих составов с позиций термофлуктуационной (кинетической) концепции разрушения. Получены значения термофлуктуационных констант, отражающих физическую и химическую структуру материалов. Дана трактовка механизма разрушения бетонных образцов в широком диапазоне нагрузок и температур. Предложен способ расчета и прогнозирования механической долговечности в реальных условиях эксплуатации. Приведены примеры расчета долговечности для бетонных облицовочных панелей на металлическом каркасе.

Ключевые слова: цементно-песчаный бетон, асбоцементные отходы, оптимальная концентрация, жидкие активные добавки, водопоглощение, морозостойкость, долговечность.

Введение. Утилизация отходов промышленности является одной из приоритетных задач современного строительного материаловедения. Находящийся в отвалах строительный мусор зачастую пригоден для повторного использования в качестве активных или пассивных добавок в новые композитные материалы. Вопросам утилизации асбестоцементных отходов в настоящее время уделяется большое внимание, что связано в первую очередь с нехваткой практически повсеместно сырьевых ресурсов и их удорожанием [1]. В то же время асбестоцементные отходы в своем составе имеют компоненты, пригодные для получения на их основе строительных материалов различного назначения. Проблема утилизации асбестоцементных отходов (АЦО) актуальна и потому, что с ее решением уменьшается загрязнение окружающей среды.

Рациональное решение проблемы промышленных отходов зависит от ряда факторов: вещественного состава отходов, их агрегатного состояния, количества, технологических особенностей и т.д. [2]. Наиболее эффективным решением проблемы промышленных отходов является внедрение безотходной технологии. Из-за отсутствия специального оборудования, энерго- и трудоемкости помола АЦО в асбестоцементном производстве используется редко.

К сожалению, большую часть АЦО в связи с названными выше трудностями использования вывозят в отвалы. На ряде предприятий вопреки запрету влажные АЦО отгружаются строительным организациям и населению для выполнения теплоизоляционных засыпок, сухие – для подсыпки дорог и железнодорожных насыпей. Лишь на некоторых заводах внедрена технология производства мелких стеновых блоков из сухих асбестоцементных отходов (САЦО) для возведения малоэтажных зданий. В этом случае сухие отходы используют в качестве крупного заполнителя, который перемешивают с портландцементом и песком и формируют на виброплощадках.

Методология. Объектом исследования был выбран мелкозернистый бетон марки М100. В качестве вяжущего использовали портландцемент М400. Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении экспериментальных образцов соответствовала ГОСТ 23732-79 [3]. В качестве заполнителя использовали песок с модулем крупности 0,85.

Для изготовления образцов с использованием отходов асбестоцементных материалов применяли бой шифера, разделенный по фракциям 0...5 (рис. 1, а), 10...20 (рис. 1, б) и 20...40 мм (рис. 1, в). Также использовали

осколки асбестоцементной трубы размером 20...40 мм (рис. 1, г).

Для повышения механических характеристик бетонов вводили добавки [4] – поливинилацетатный клей (ПВА) и силикат натрия (производство г. Тамбов).

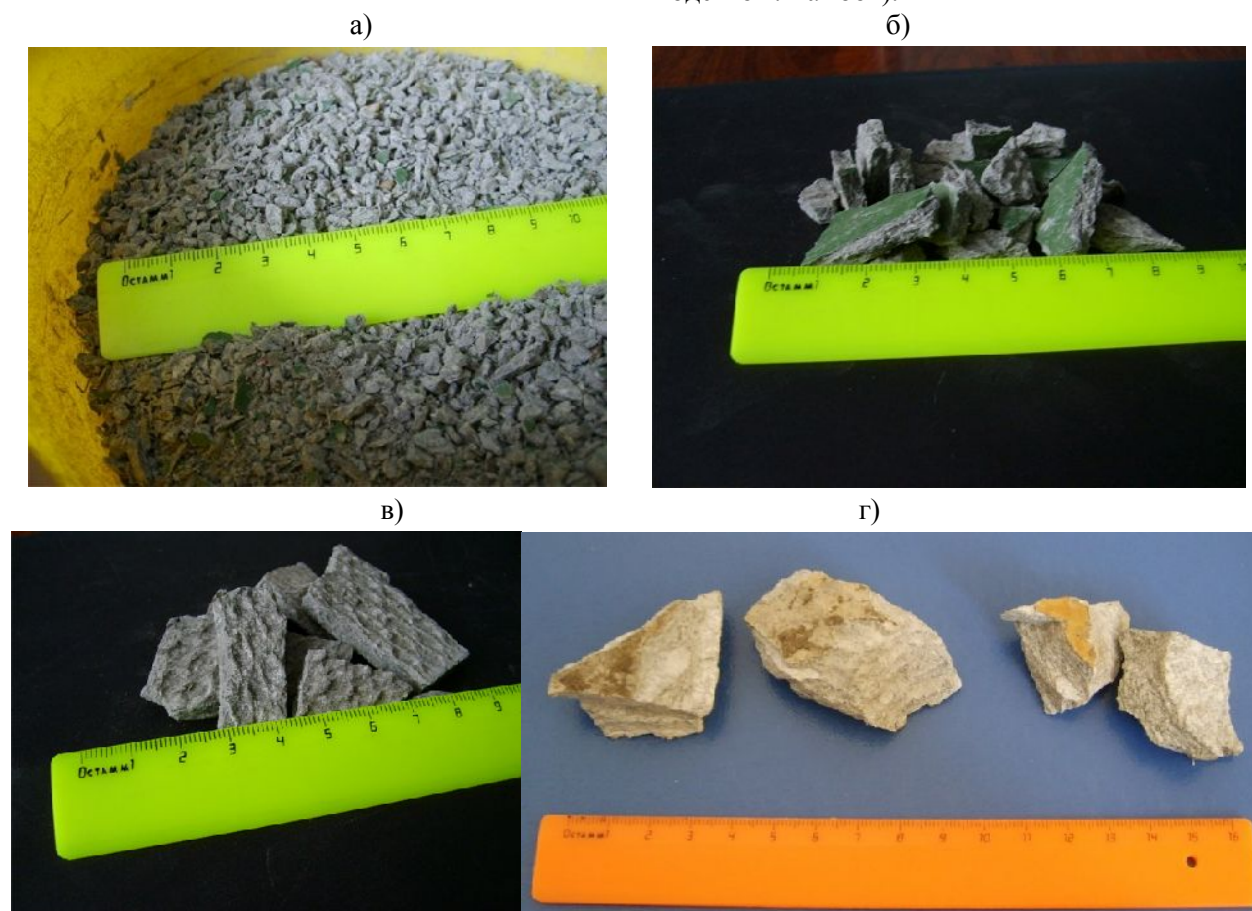


Рис. 1. Асбестоцементный заполнитель в бетон: а) бой волнистых асбестоцементных листов фракцией <5 мм; б) бой волнистых асбестоцементных листов фракцией 10...20 мм; в) бой волнистых асбестоцементных листов фракцией 20...40 мм; г) бой асбестоцементных труб фракцией 20...40 мм

Компоненты бетонной смеси взвешивали на технических весах с точностью до 10 гр. Перед смешиванием бункер смесителя смачивали водой для уменьшения водопотребности бетонной смеси. Вначале производили их смешивание в сухом виде, а затем добавляли воду. Перемешивание выполняли механическим способом [5]. Образцы изготавливали в формах, соответствующих требованиям ГОСТ 226-85, а также в разборной металлической опалубке для испытаний на долговечность. Внутренние поверхности форм покрывали тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов.

Укладку и уплотнение бетонной смеси проводили не позднее, чем через 20 мин после её изготовления [6].

Для изготовления бетона с использованием сухих асбестоцементных отходов (БИСАЦО) применяли бой шифера и асбестоцементных труб, разделенный по фракциям с помощью стандартного набора сит 40, 20, 10, <5 мм.

Образцы изготавливали трех видов:

- в виде кубиков с размерами 100×100×100 мм, для испытаний на центральное сжатие;
- в виде балочек с размерами 40×40×160 мм, для испытаний на поперечный изгиб, а после разрушения половинки испытывали на центральное сжатие.
- в виде балочек с размерами 20×20×100 мм, для испытаний на поперечный изгиб, а после разрушения их нарезали кубиками с размером ребра 20 мм для испытаний на центральное сжатие.

Для изучения влияния добавок на свойства бетонов при изготовлении образцов в смеси вводили водные растворы поливинилацетата и силиката натрия. Количество вводимых добавок (по массе) определяли исходя из пропорции 1/10 (к массе сухой смеси).

Введение добавок осуществляли следующим образом. Сухую смесь разбавляли водой, количество которой принимали равной, половине от требуемой по расчету. Половину оставшегося

количества воды перемешивали с добавкой и небольшими дозами добавляли в бетонную смесь.

Основная часть. Изучение зависимости прочности при сжатии и поперечном изгибе от количества заполнителя и его зернового состава проводили на прессе ИП-500 в режиме заданной постоянной скорости нагружения. Полученные результаты от времени твердения бетона представлены на рис. 2.

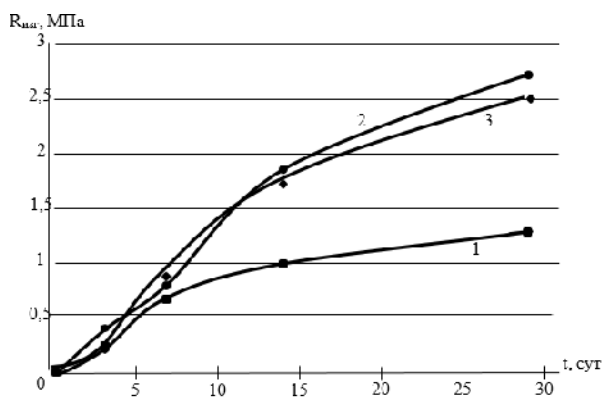


Рис. 2. Зависимость прочности при поперечном изгибе от времени твердения образцов цементно-песчаного бетона (1) с добавлением САЦО размером зерен ≤ 5 мм (2), размером зерен 10...20 мм (3)

Из рисунка видно, что прочность бетона при добавлении в него САЦО увеличивается в 1,5 раза.

Результаты исследования прочности при сжатии для всех составов бетонов представлены на рис. 3. В мелкозернистом бетоне М100 песок частично заменяли измельченными САЦО. Для построения зависимости испытывали образцы с размером зерен ≤ 5 мм и содержанием АЦО 0, 33, 66, 100 % по массе; с размером зерен 10...20 мм и 20...40 мм и содержанием САЦО 0, 20, 40, 60 % по массе. Прочность при сжатии достигала максимального значения при введении 30–40 % наполнителя. При увеличении количества САЦО прочность резко падала, по-видимому, из-за того, что цементное вяжущее не обеспечивало полное сцепление зерен наполнителя.

Для изучения влияния жидких активных добавок были изготовлены мелкозернистые бетоны с добавлением поливинилацетата и силиката натрия (10 % по массе). Модуль крупности зернового состава асбестоцементного наполнителя составил 4,11.

Полученные зависимости прочности при сжатии и поперечном изгибе представлены на рис. 4.

Из рисунка видно, что введение 10 % поливинилацетата существенно повышает характеристики БИСАЦО. Материал становится более

«пластичным», повышаются прочность при сжатии, увеличивается прогиб при изгибающей нагрузке. Введение силиката натрия, напротив, оказывает негативное влияние на физико-механические характеристики композита. Это, по-видимому, связано с тем, что при введении силиката натрия, значительно повышалась водопотребность бетонной смеси. Вследствие этого увеличивалась пористость и неоднородность материала.

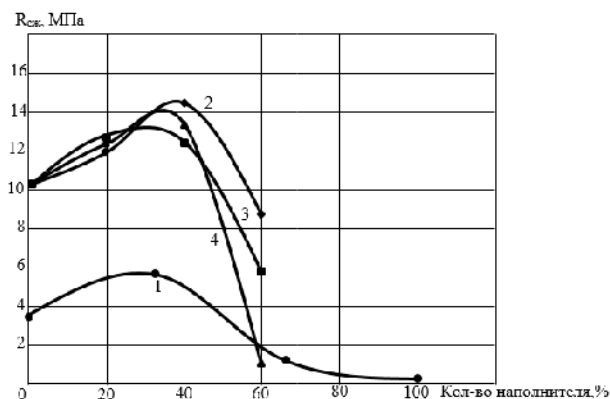


Рис. 3. Зависимость прочности бетона от процентного содержания АЦО размером зерен боя волнистых асбестоцементных листов ≤ 5 мм (1), 10...20 мм (2), 20...40 мм (3) и осколков цементных труб 20...40 мм (4)

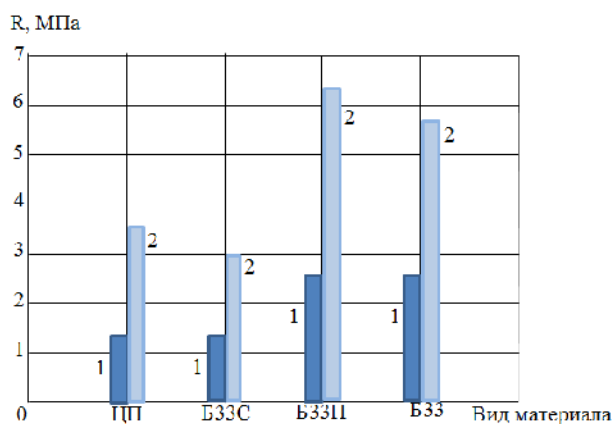


Рис. 4. Зависимость прочности при изгибе (1) и сжатии (2) от вида добавки, где ЦП – образцы цементно-песчаного раствора 1:4; БЗ3 – бетоны с 33 % САЦО; БЗ3С – бетоны с 33 % САЦО и 10 % силиката натрия; БЗ3П – бетоны с 33 % САЦО и 10 % ПВА

Результаты исследования водопоглощения БИСАЦО по массе (W_m) представлены на рис. 5.

Из рисунка 5 видно, что наибольшее водопоглощение наблюдается у материала БЗ3С (33 % САЦО + 10 % силиката натрия). Причиной этого является наибольшая пористость этого материала. Напротив, материалы с наибольшей поверхностной плотностью и, соответственно, меньшей пористостью, имеют наименьшее водопоглощение (БЗ3, БЗ3П).

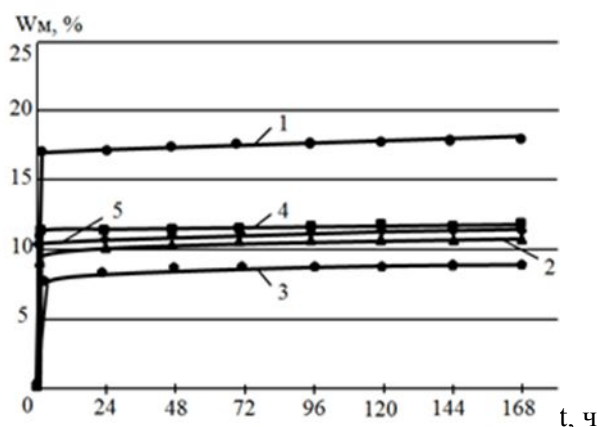


Рис. 5. Зависимость водопоглощения материала по массе от времени замачивания бетона (1 - ЦП, 2 - Б33, 3 - В33П, 4 - Б33С, 5 - Ф 2)

Бетоны с сухим асбестоцементным наполнителем составов Б33, Б33С, Б33П, ЦП и Ф2 (фракция 10–20 мм) были подвержены 40 циклам замораживания-оттаивания [7, 8]. Результаты измерения прочности при сжатии сведены в таблицу 1.

Морозостойкость материала непосредственно связана с его водопоглощением, поэтому материалы с наибольшим водопоглощением выдержали наименьшее количество циклов «замораживания-оттаивания». Наибольшую марку по морозостойкости показали материалы Б33 и Б33П, поэтому дальнейшие исследования проводили с данными материалами. Б33С в дальнейшем не изучался, в связи с нерациональностью дополнительных исследований.

Таблица 1

Результаты определения морозостойкости

Наименование материала	Количество циклов «замораживания-оттаивания»	Снижение прочности на сжатие, %	Уменьшение массы материала, %	Марка морозостойкости согласно ГОСТ 10060.0-95
ЦП	25	19,4	2,56	F20
Б33	30	20	3,12	F30
Б33П	40	22,3	2,75	F40
Б33С	15	22,4	3,15	F15
Ф 2	25	19,8	4,21	F25

Закономерности разрушения БИСАЦО при поперечном изгибе были также изучены в широком диапазоне постоянных напряжений и температур. В результате испытаний фиксировали время до разрушения (долговечность). Исследования основаны на термофлуктуационной (кинетической) концепции. При этом долговечность материалов с позиции термофлуктуационной концепции разрушения описывается уравнением [9]:

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right]$$

τ_m , U_0 , γ и T_m – физические константы материала: τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц – атомов, групп атомов, сегментов), с; U_0 – максимальная энергия активации разрушения, кДж/моль; γ – структурно-механическая константа, кДж/(моль·МПа); T_m – предельная температура существования твёрдого тела (температура разложения), К; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); τ – время до разрушения (долговечность), с; σ – напряжение, МПа; T – температура, К.

Полученные экспериментальные результаты обрабатывали в координатах логарифм долговечности ($\lg \tau$) от напряжения (σ) при указанных постоянных температурах, см. рис. 6.

По полученным зависимостям графоаналитическим методом [10] были определены физические константы, значения которых представлены в табл. 2.

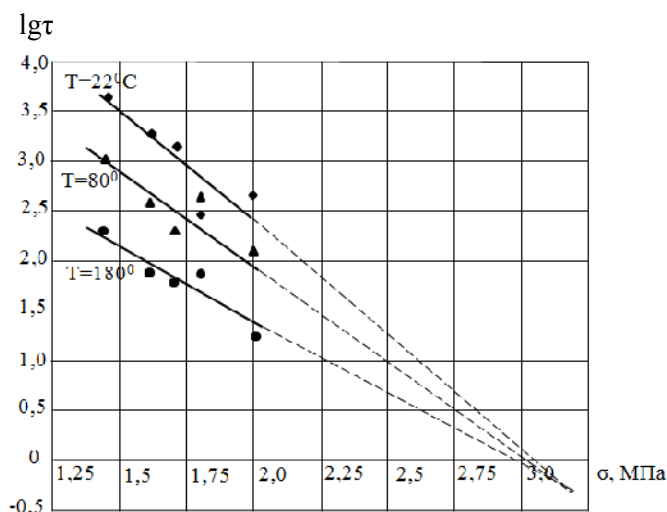
Подставив значения констант в уравнение можно прогнозировать долговечность исследуемых материалов при заданных параметрах эксплуатации [11].

Плиты из БИСАЦО можно использовать в качестве облицовочных панелей на металлическом каркасе, прикрепляемые к наружным стенам зданий. Ориентировочные геометрические размеры данных панелей можно принять 600×600×20 мм. Основным воздействием, образующим поперечный изгиб из плоскости панели, является ветровая нагрузка. Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m на высоте z над поверхностью земли следует определять по формуле [12]

$$w_m = w_0 k c$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления, для II ветрового района равно 0,3 кПа; k – коэффициент, учитывающий изменение давления по высоте, для типа местности «А» на 10-метровой высоте равен 1,0; c – аэродинамический коэффициент, для наветренной стороны равен +0,8. Отсюда следует, ветровая нагрузка на панель равна $w_m = 0,3 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,24$ кПа.

а)



б)

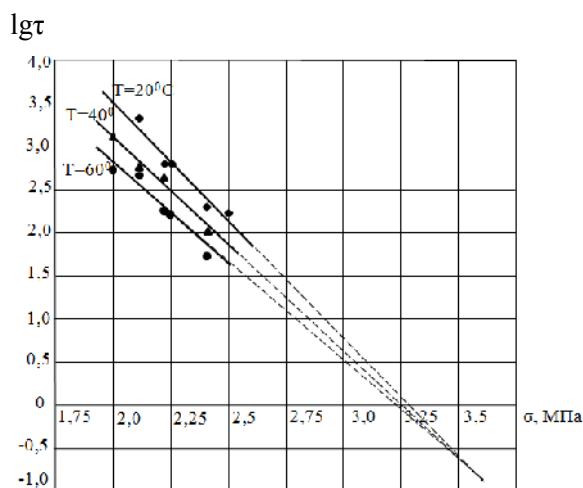


Рис. 6. Зависимости времени до разрушения от напряжения при поперечном изгибе БИСАЦО Б33 (а), БИСАЦО Б33П (б)

Таблица 2

Значения физических констант уравнения при поперечном изгибе для БИСАЦО

Вид материала	U_0 , кДж/моль	T_m , К	$\lg \tau_m$	γ , кДж/(моль·МПа)
Б33	45,6	3125	-0,32	13,9
Б33П	70,5	1401,9	-0,906	19,3

Определяем напряжение [13], действующее в плите

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{w_m l^2}{t^2} = \frac{3}{2} \frac{0,24 \cdot 0,6^2}{0,02^2} = 0,324 \text{ МПа}.$$

При данной нагрузке и температуре +5 °С, что соответствует среднегодовой для Тамбова [14], продолжительность работы составляет:

- Б33 – 5,8 лет;
- Б33П – 62,5 года.

Выводы.

1) Разработан композитный материал с использованием в качестве наполнителя утилизированных асбестоцементных отходов.

2) Изучена, зависимость прочности от зернового состава наполнителя. Показано, что

оптимальным составом для работы при сжатии являются составы с фракцией наполнителя 0...5 мм и 10...20 мм, концентрации 33 и 40 % соответственно. Для работы при поперечном изгибе оптимальным является состав с фракцией наполнителя 0...5 мм концентрации 33 % по массе.

3) Определено влияние добавок поливинилацетата и жидкого стекла на физико-механические характеристики бетона. Положительное воздействие оказывает добавка 10 % ПВА.

4) Исследовано влияние климатических факторов (циклов «замораживания-оттаивания») на прочностные свойства бетона. Установлено, что наибольшее количество циклов выдержал материал с 33 % содержанием САЦО и 10 % ПВА

по массе. Прочность данного материала незначительно уменьшилась только после 40 циклов «замораживания-оттаивания».

5) Изучены закономерности разрушения БИСАЦО в широком диапазоне заданных постоянных напряжений и температур с позиции кинетической (термофлуктуационной) концепции прочности. Выявлены аналитические зависимости связывающие основные параметры работоспособности – время эксплуатации, напряжение и температуру. Получены величины физических констант материалов, входящие в данные зависимости и определяющие эти параметры. Определены продолжительности работы материала в реальных условиях в качестве навесных облицовочных панелей фасадов здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павленко С.И. Мелкозернистые бетоны из отходов промышленности. М.: изд-во АСВ, 1997. 176 с.
2. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1979. 476 с.
3. ГОСТ 23732-79 (1993) Вода для бетонов и растворов. Технические условия
4. Ратинов В.Б., Розенберг Г.И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1973. 207 с.
5. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. М.: Высш. шк., 2003. 701 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 672 с.
7. ГОСТ 10060.0-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования.
8. ГОСТ 10060.1-95 Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости.
9. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? М.: Химия, 1992. 320 с.
10. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. Издательство: М.: Наука. 1974. 536 с.
11. Ярцев В.П., Репина Е.И., Шеверда В.В. Влияние зернового состава наполнителей из асбестоцементных отходов на физико-механические характеристики цементно-песчаного бетона. Вестник ТГТУ. 2018. Том 24. №1. С. 165–170.
12. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. Москва. 2003.
13. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции (Общий курс). Учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1991. 767 с.
14. СНиП 23-01-99*Строительная климатология. Москва. 2003.

Информация об авторах

Ярцев Виктор Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры конструкций зданий и сооружений. E-mail: jarcev21@rambler.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Д.

Репина Елена Ивановна, аспирант кафедры конструкции зданий и сооружений. E-mail: rep-ka@yandex.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392032, Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Д.

Поступила в марте 2018 г.

© Ярцев В.П., Репина Е.И., 2018

¹Yartsev V.P., ^{1,*}Repina E.I.

¹Tambov State Technical University

Russia, 392032, Tambov, st. Michurinskaya, 112, building D

*E-mail: rep-ka@yandex.ru

EFFECT OF ASBESTOS WASTE FILLERS ON PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF CEMENT-SAND CONCRETE

Abstract. It is proposed to use asbestos-cement waste of constructive products and designs as a cement-sand concrete filler. The use of asbestos-cement waste as a concrete aggregates is limited. The main part of waste is disposed into dumps which leads to the environmental pollution. Waste of broken slate and asbestos-cement pipes are separated in fractions of 0...5, 10...20 and 20...40 mm. The effect of asbestos-cement wastes on the physico-mechanical properties and durability of cement-sand concrete is investigated. The optimal concentration and the grain size of the fillers are established. The values of strength, water absorption limit and durability under specified operating parameters of the cement-sand concrete are determined. The effect of liquid supplements on the durability and frost resistance of concrete is investigated. Polyvinyl acetate glue (PVA) and sodium silicate are used as active additives. Compositions of concrete with the highest performance

are developed. The long-term mechanical testing of compositions from the standpoint of the thermofluctuational (kinetic) concept of destruction is conducted. Values of the thermofluctuational constants, which reflect the physical and chemical structure of materials are obtained. The interpretation of the mechanism of concrete samples destruction in a wide range of loads and temperatures is given. The method of calculation and prediction of mechanical durability in actual operating conditions is proposed. Examples of the durability calculation for concrete cladding panels on a metal frame are given.

Keywords: cement-sand concrete, asbestos-cement waste, optimum concentration, the liquid active additive, water absorption, frost resistance, durability.

REFERENCES

1. Pavlenko S.I. Fine-Grained concrete from industrial waste. M.: publishing house DIA, 1997, 176 p.
2. Volzhensky A.V., Burov Yu.S., Kolokolnikov V.S. Mineral binders. M.: Stroyizdat, 1979, 476 p.
3. GOST 23732-79 (1993) water for concrete and mortar. Technical conditions.
4. Ratnov V.B., Rosenberg I.G. concrete and concrete products. M.: Stroyizdat, 1973, 207 p.
5. Rublev I.A. Construction materials. M.: Higher. SHK., 2003, 701 p.
6. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete and reinforced concrete products. M.: Stroyizdat, 1984, 672 p.
7. GOST 10060.0-95 Concrete. Methods for determining frost resistance. General requirements.
8. GOST 10060.1-95 Concrete. The basic method for the determination of frost resistance.
9. Ratner S.B., Yartsev V.P. Physical mechanics of plastics. How to predict the performance? M.: Chemistry, 1992, 320 p.
10. Regel V.R., Slutsker A.I., Tomashevsky E.E. Kinetic nature of solids strength Publisher: M.: Nauka, 1974, 536 p.
11. Yartsev V.P., Repina E.I., Sheverda V.V. Influence of grain composition of asbestos-cement waste aggregates on physical and mechanical characteristics of cement-sand concrete. Vestnik TGTU, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 165–170.
12. SNiP 2.01.07-85 * Loads and impacts. Moscow. 2003.
13. Baikov V.N., Sigalov E.E. Reinforced Concrete structures (General course). Studies' for universities. 5th ed.. M.: Stroyizdat, 1991, 767 p.
14. SNiP 23-01-99 Building climatology. Moscow, 2003.

Information about the author

Yartsev, Viktor P. PhD, Professor. E-mail: jarcev21@rambler.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392032, Tambov, st. Michurinskaya, 112, building D.

Repina, Elena I. Postgraduate student. E-mail: rep-ka@yandex.ru. Tambov State Technical University. Russia, 392032, Tambov, st. Michurinskaya, 112, building D.

Received in March 2018

Для цитирования:

Ярцев В.П., Репина Е.И. Влияние наполнителей из асбоцементных отходов на физико-механические свойства и долговечность цементно-песчаных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 16–22. DOI: 10.12737/article_5bd95a711c3155.64686740

For citation:

Yartsev V.P., Repina E.I. Effect of asbestos waste fillers on physico-mechanical properties and durability of cement-sand concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 16–22. DOI: 10.12737/article_5bd95a711c3155.64686740

DOI: 10.12737/article_5bd95a716cf0c5.55926144

^{1,*}Долженко А.В., ¹Наумов А.Е., ¹Шевченко А.В., ²Стойкович Н.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

²Вышская техническая школа профессионального образования Ниш

Республика Сербия, 18000, г. Ниш, ул. Александра Медведова 20

*E-mail: dolzhenko.av@bstu.ru

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТИКОТРУБОБЕТОННОГО ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО КОРОТКОГО СТЕРЖНЯ

Аннотация. Полимертрубобетонные (ПТБ) стойки современной наукой рассматриваются как прогрессивная конструктивная инновация. Установлено, что прочность и жесткость ПТБ стоек существенно возрастает по отношению к безоболочечным конструкциям аналогичных сечений и материала, что позволяет осуществлять их рациональное проектирование. Качественное объяснение упрочнению бетона ПТБ конструкций находится в рассмотрении его работы на условное трехосное сжатие, однако количественно пространственная работа ПТБ в существующих на сегодня отечественных нормах не представлена. Во-многом это связано с недостатком теоретических и численных исследований такого вида конструктивных элементов, в связи с чем математическое моделирование и создание инженерных методик расчета ПТБ на основе содержательного рассмотрения совместной работы цилиндрической оболочки и бетонного ядра имеет существенный научный потенциал. Проведенное авторами конечноэлементное моделирование и анализ возникающих в сечениях конструкций деформаций и эквивалентных напряжений по теории прочности Мора при вертикальном нагружении позволили ранее качественно установить, что несущая способность короткой ПТБ стойки по прочности на 25 %, а по жесткости – на 15 % выше, чем равной по объему бетонной стойки без оболочки, что позволяет с оптимизмом смотреть на потенциальную ресурсоэффективность инновационной конструкции. В работе представлен количественный анализ действительной работы элементов короткой ПТБ стойки на основе рассмотрения авторской пространственной нелинейной деформационной модели конструкции с учетом работы бетонного ядра, находящегося в условиях трехосного сжатия и совместной работы с полимерной оболочкой, показана применимость модели для различных условий осуществления расчетного процесса.

Ключевые слова: полимертрубобетон, труботетон, трехосное сжатие, прочностные расчеты строительных конструкций.

Авторами ранее были исследованы прочностные и деформативные характеристики ПТБ элементов, работающих на вертикальные нагрузки, представляющих собой заполненные тяжелым бетоном полипропиленовые и полиэтиленовые трубы технического назначения, распространенные в инженерном строительстве. Экспериментальные исследования при центральном сжатии коротких ПТБ стоек наружным диаметром 110 мм и высотой 400 мм, заполненных бетоном класса В15, с ручным уплотнением бетона заполнения показали существенное (до 35 %) увеличение прочности заключенного в трубу бетона по сравнению с кубиковой того же класса вместе с высокой степенью сплошности и монолитности бетона ядра [1, 2, 3, 4].

Расчет прочности нормальных сечений ПТБ стоек предлагается выполнять по нелинейной деформационной модели железобетона. В качестве исходных данных для построения предлагаемой методики расчета являются:

- система уравнений, описывающих связь между напряжениями и деформациями для любой точки трансверсально-изотропного бетонного ядра в форме обобщенного закона Гука, но с учетом физической нелинейности;

- условие прочности объемно-сжатого бетонного ядра;

- криволинейные диаграммы деформирования бетона и пластика.

Предельное состояние первой группы может наступить в рассматриваемых ПТБ стойках в следующих случаях:

- исчерпание несущей способности сечения;
- потеря общей устойчивости;
- местная потеря устойчивости.

В первом случае, для определения несущей способности используем следующие предположения:

- а) для пластиковой оболочки две гипотезы Киргхофа-Лява [5]:

- прямолинейные и нормальные к срединной поверхности волокна недеформированной обо-

лочки остаются прямолинейными и нормальными к деформированной срединной поверхности и не меняют своей длины,

– нормальные напряжения на площадках, параллельных площадкам срединной поверхности, пренебрежимо малы по сравнению с другими напряжениями,

б) кольцевые и меридиональные напряжения постоянны в каждом сечении оболочки,

в) физическую нелинейность работы бетона принимаем по трансформированной диаграмме трехосного сжатия или области смешанных напряжений бетона (рис. 1),

г) физическую нелинейность работы материала пластика принимаем из экспериментальных данных (рис. 2).

Бетон при работе в трубе испытывает трехосное сжатие. Для описания связи между напряжениями и деформациями применим модель Н. И. Карпенко [6]. В процессе нагружения бетон теряет сплошную структуру вследствие образования микротрещин и трещин значительной протяженности в стадии разрушения. При этом трещины имеют ориентацию вдоль площадок главных напряжений или деформаций и, следовательно, развиваются направленно и бетон имеет разные физико-механические характеристики в разных направлениях. Таким образом, в процессе нагружения бетон приобретает еще ярче выраженные ортотропные свойства.

Ортотропный материал, находящийся в трехосном напряженно-деформированном состоянии, можно описать, согласно [6], следующей математической моделью:

$$\{\varepsilon\}_n = [C_b]_n \{\sigma\}_n, \quad (1)$$

где $\{\varepsilon\}_n$ – вектор-столбец относительных деформаций бетона; $\{\sigma\}_n$ – вектор-столбец напряжений бетона, $[C_b]_n$ – матрица податливости бетона.

Оси 1, 2, 3 (m, n, l) являются осями ортотропии материала. Согласно классической ортотропной модели, коэффициенты матрицы податливости будут равны:

$$C_{b11} = \frac{1}{E_{b1}}; C_{b22} = \frac{1}{E_{b2}}; C_{b33} = \frac{1}{E_{b3}}; \quad (2)$$

$$C_{b12} = -\frac{\mu_{b12}}{E_{b2}}; C_{b13} = -\frac{\mu_{b13}}{E_{b3}}; \quad (3)$$

$$C_{b21} = -\frac{\mu_{b21}}{E_{b1}}; C_{b23} = -\frac{\mu_{b23}}{E_{b3}}; \quad (4)$$

$$C_{b31} = -\frac{\mu_{b31}}{E_{b1}}; C_{b32} = -\frac{\mu_{b32}}{E_{b2}}; \quad (5)$$

$$C_{b44} = \frac{1}{G_{b12}}; C_{b55} = \frac{1}{G_{b23}}; C_{b66} = \frac{1}{G_{b31}}, \quad (6)$$

где E_{bi} – модули деформации по трем главным направлениям ($i=1, 2, 3$); μ_{bij} – коэффициенты поперечной деформации (Пуассона), характеризующие поперечное расширение при сжатии или сокращение вследствие растяжения, причем первый индекс показывает направление сокращения или удлинения, а второй – номер напряжения, вызывающего это сокращение или удлинение; G_{bkj} – модули сдвига в трех плоскостях $kj=12, 23, 31$, характеризующие изменение прямых углов между главными направлениями k, j .

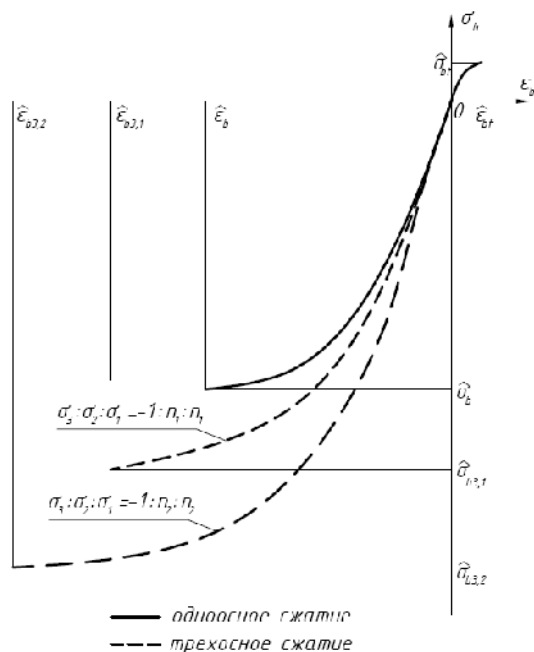


Рис. 1. Трансформированные диаграммы трехосного сжатия, принимаемые в расчетах

Для описания работы бетона примем также допущение, что все составляющие главных напряжений по их определенным направлениям изменяются пропорционально одному параметру, т.е. нагружение является простым и трехосным (гидростатическим).

Для случая трехосного сжатия (области напряжений $\sigma_1 < 0$) применим следующие зависимости.

Коэффициент изменения секущего модуля бетона, согласно [6] равен:

$$\nu_{b3} = \hat{\nu}_{b3} + (\nu_{03} - \hat{\nu}_{b3}) \sqrt{1 - \omega_{13}\eta_3 - \omega_{23}\eta_3^2}, \quad (7)$$

где

$$\omega_{13} = 2 - 2,05\hat{\nu}_{b3}, \quad (8)$$

$$\omega_{23} = 1 - \omega_{13}, \quad (9)$$

$$\mu_{b13} = \mu_b^0 + (1 - \sqrt[3]{\hat{\nu}_{b3}}) \chi_{13}, \quad (13)$$

уровень главных напряжений

$$\eta_3 = \frac{\sigma_{b3}}{\hat{\sigma}_{b3}}, \quad (10)$$

где $\hat{\sigma}_{b3}$ – предельные значения напряжений при трехосном сжатии; $\hat{\nu}_{b3}$ – значение коэффициента изменения в вершине трансформированной диаграммы трехосного сжатия.

Коэффициент изменения в вершине трансформированной диаграммы трехосного сжатия, согласно [6], равен:

$$\nu_{b3} = \nu_b \varphi_R^n \quad (11),$$

$$n \approx 1, \quad \varphi_R = \left| \frac{\hat{\sigma}_b}{\hat{\sigma}_{b3}} \right| \leq 1, \quad (12)$$

где коэффициент φ_R учитывает увеличение предельных деформаций бетона при трехосном сжатии в сравнении с одноосным сжатием ($\hat{\sigma}_b = -R_{b,ser}$).

Коэффициент поперечной деформации бетона (коэффициент Пуассона)

где $\mu_b^0 = 0,15 - 0,2$ — начальный коэффициент поперечной деформации; χ_{13} – коэффициент, учитывающий неравномерность развития поперечных деформаций в трех направлениях главных напряжений ($\chi_{13}=1$), возможна корректировка по данным эксперимента).

Для материала оболочки имеем зависимости между деформациями и напряжениями:

$$\varepsilon_{f2} = \frac{1}{\nu_f E_f} (\sigma_{f2} - \mu_f \sigma_{f1}), \quad (14)$$

$$\varepsilon_{f1} = \frac{1}{\nu_f E_f} (\sigma_{f1} - \mu_f \sigma_{f2}), \quad (15)$$

где $\varepsilon_{f1}, \sigma_{f1}$ – поперечные (кольцевые) относительные деформации и напряжения; $\varepsilon_{f2}, \sigma_{f2}$ – продольные (меридиональные) относительные деформации и напряжения, ν_f – коэффициент изменения секущего модуля пластика; μ_f – коэффициент Пуассона материала оболочки; E_f – модуль упругости материала оболочки.

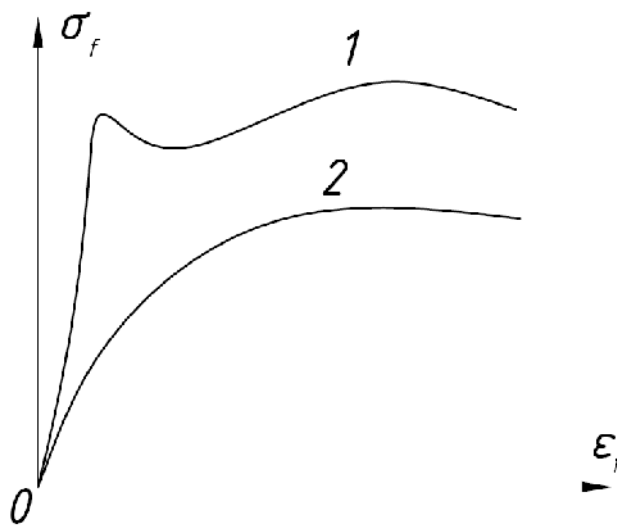


Рис. 2. Стандартный вид диаграмм растяжения пластика, принимаемых в расчетах:
1 – материал имеет предел текучести, 2 – материал не имеет предела текучести

Кольцевые деформации расширения трубы от бокового давления бетона можно выразить через боковое расширение бетона:

$$\varepsilon_{f1} = \frac{1}{\nu_{b3} E_b} (\sigma_{b1} - \mu_{b13} (\sigma_{b3} + \sigma_{b1})), \quad (16)$$

Здесь ν_{b3} – коэффициент изменения секущего модуля бетона; E_b – начальный модуль упругости бетона; μ_{b13} – коэффициент поперечной деформации бетона (коэффициент Пуассона);

$\sigma_{b3}, \sigma_{b1}, \sigma_{b1}$ – главные напряжения в бетонном ядре.

Рассмотрим работу цилиндрической оболочки. Продольную относительную деформацию, выражая через усилия можно записать

$$\varepsilon_{f2} = \frac{1}{\nu_f E_f} (q - \mu_f R p), \quad (17)$$

где q – вертикальная нагрузка, действующая на оболочку (т.е. доля общей, воспринимаемой оболочкой); p – внутреннее давление на оболочку

от бокового расширения бетонного ядра; R – радиус цилиндрической оболочки.

Согласно [7, 8, 9], продольное перемещение равно:

$$u(x) = \frac{1}{\nu_f E_f} \int_0^x \left(\frac{q}{t} - \frac{\mu_f R p}{t} \right) dx + g(s) = \frac{1}{\nu_f E_f} \left(\frac{q}{t} - \frac{\mu_f R p}{t} \right) x + g(s), \quad (18)$$

здесь $g(s)$ – произвольная функция общего решения однородной системы дифференциального уравнения равновесия оболочки [7, 8].

При $x = 0$

$$u(0) = 0, g(s) = 0.$$

При $x = L$

$$\frac{1}{\nu_f E_f} \left(\frac{q}{t} - \frac{\mu_f R p}{t} \right) L = \varepsilon_{b3}; \quad L = \frac{1}{\nu_{b3} E_b} (\sigma_{b3} - \mu_{b13} (\sigma_{b2} + \sigma_{b1})) L, \quad (20)$$

и, следовательно, равны относительные деформации пластиковой оболочки и бетонного ядра (по крайней мере, малые приращения).

Тогда

$$\varepsilon_{f2} = \varepsilon_{b3}, \quad (21)$$

$$\frac{1}{\nu_f E_f} (\sigma_{f2} - \mu_f \sigma_{f1}) = \frac{1}{\nu_{b3} E_b} (\sigma_{b3} - \mu_{b13} (\sigma_{b2} + \sigma_{b1})). \quad (22)$$

Так как давление от оболочки на бетон:

$$\frac{\sigma_{f1} t}{R} = -\sigma_{b1} = -\sigma_{b2}, \quad (23)$$

то, добавив, условие равновесия, получим следующие соотношения, описывающие работу ПТБ

$$\frac{1}{\nu_f E_f} (\sigma_{f2} - \mu_f \sigma_{f1}) = \frac{1}{\nu_{b3} E_b} \left(\sigma_{b3} + 2\mu_{b12} \frac{\sigma_{f1} t}{R} \right), \quad (24)$$

$$\frac{1}{\nu_f E_f} (\sigma_{f1} - \mu_f \sigma_{f2}) = -\frac{1}{\nu_{b3} E_b} \left(\frac{\sigma_{f1} t}{R} + \mu_{b13} (\sigma_{b3} - \frac{\sigma_{f1} t}{R}) \right), \quad (25)$$

$$N = \sigma_{b3} A_b + \sigma_{f2} A_f, \quad (26)$$

здесь A_b – площадь бетона; A_f – площадь оболочки; t – толщина оболочки.

Решая совместно уравнения 23, 24, 25 получим:

$$\sigma_{f1} = \frac{N}{k_1 A_b + k_2 A_f}, \quad (27)$$

$$\sigma_{f2} = \frac{N}{\frac{k_1}{k_2} A_b + A_f}, \quad (28)$$

$$\sigma_{b3} = \frac{N}{A_b + \frac{k_2}{k_1} A_f}, \quad (29)$$

где коэффициенты k_1, k_2 находят по формулам

$$k_1 = \frac{(\mu_{b13} + 2\mu_{b12}\mu_f - 1)\alpha_f \frac{t}{R} + \frac{\nu_{b3}}{\alpha_f \nu_f} (\mu_f^2 - 1)}{\mu_f - \mu_{b13}}, \quad (30)$$

$$k_2 = \frac{[(2\mu_{b12} + 1)\mu_{b13} - 1] \frac{\alpha_f \nu_f}{\nu_{b3}} \frac{t}{R} + \mu_{b13}\mu_f - 1}{\mu_f - \mu_{b13}}, \quad (31)$$

$$\alpha_f = \frac{E_f}{E_b}. \quad (32)$$

В предельном состоянии при разрушении бетона при трехосном сжатии коэффициент изменения, ν_{b3} достигнет своего значения в вершинах диаграмм $\hat{\nu}_{b3}$ соответственно, а напряжения своего предельного значения при трехосном сжатии – $\hat{\sigma}_{b3}$.

Тогда условия прочности для элемента запишутся:

$$N \leq (A_b + \frac{k_2}{k_1} A_f) k_3 R_b, \quad (32)$$

$$- \frac{N}{k_1 A_b + k_2 A_f} \leq R_f, \quad (33)$$

$$\frac{N}{\frac{k_1}{k_2} A_b + A_f} \leq R_{fc} \quad (34)$$

где N – расчетная продольная сила от внешней нагрузки, R_b – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию, R_f – расчетное сопротивление материала трубы растяжению, R_{fc} – расчетное сопротивление материала трубы сжатию, k_{1-3} – коэффициенты, учитывающие трехосное сжатие бетона.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов $k_3, \mu_{b13}, \mu_{b12}, \nu_b, \mu_{b13}, \mu_{b12}, \hat{\nu}_b$ для труб из полипропилена.

Таблица 1
Значения коэффициента $k_3, \mu_{b13}, \mu_{b12}, \nu_b, \mu_{b13}, \mu_{b12}, \hat{\nu}_b$ для ПТБ с трубами из полипропилена

Класс бетона	B15
Коэффициент k_3	1,15
Коэффициент μ_{b13}	0,5
Коэффициент μ_{b12}	0,5
Коэффициент $\hat{\nu}_b$	0,181

Для верификации полученных уравнений выполним расчет несущей способности по материалу ПТБ стойки диаметром 110 мм, внутренним диаметром стенки 5 мм, из бетона класса B15 ($R_b = 8,5$ МПа, $E_b = 24 \cdot 10^3$ МПа). Материал трубы — полипропилен со следующими физико-механическими характеристиками: $R_f = 4,0$ МПа, $R_{fc} = 4,0$ МПа, $E_p = 300$ МПа; $\mu_f = 0,42$, $\nu_f = 0,5$.

$$k_1 = \frac{(\mu_{b13} + 2\mu_{b12}\mu_f - 1)\alpha_f \frac{t}{R} + \frac{k_3 \hat{\nu}_b}{\alpha_f \nu_f} (\mu_f^2 - 1)}{\mu_f - \mu_{b13}} =$$

$$= \frac{(0,5 + 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 - 1) \cdot 0,0417 \frac{5}{55} + \frac{1,15 \cdot 0,181}{0,0417 \cdot 1,0} (0,42^2 - 1)}{0,42 - 0,5} = 51,389$$

$$k_2 = \frac{[(2\mu_{b12} + 1)\mu_{b13} - 1] \frac{\alpha_f \nu_f}{k_3 \hat{\nu}_b} \frac{t}{R} + \mu_{b13} \mu_f - 1}{\mu_f - \mu_{b13}} =$$

$$= \frac{[(2 \cdot 0,5 + 1) \cdot 0,5 - 1] \frac{0,0417 \cdot 1,0}{1,15 \cdot 0,181} \frac{5}{55} + 0,5 \cdot 0,42 - 1}{0,42 - 0,5} = 9,875$$

Предельная несущая способность бетонного ядра составит:

$$N_{ult} \leq (9503 + \frac{9,875}{51,389} 1806) \cdot 1,15 \cdot (-8,5) = -9,6254 \cdot 10^4 \text{ Н} = -96,25 \text{ кН}.$$

Напряжения в трубе в момент разрушения по бетону:

$$- \frac{N_{ult}}{k_1 A_b + k_2 A_f} = - \frac{-96254}{51,389 \cdot 9503 + 9,875 \cdot 1806} = 0,19 \text{ МПа} \leq R_f = 4,0 \text{ МПа},$$

$$\frac{N_{ult}}{\frac{k_1}{k_2} A_b + A_f} = \frac{96254}{\frac{51,389}{9,875} 9503 + 1806} = 1,88 \text{ МПа} \leq R_{fc} = 4,0 \text{ МПа}.$$

Прочность трубы обеспечена.

В качестве альтернативной математической модели будем использовать метод конечных элементов (МКЭ).

Оценим работу трубобетона при совместной работе бетонного ядра и пластиковой оболочки (т.е. перемещения оболочки и бетона на контакте одинаковы). Материалы ядра и оболочки работают в упругой стадии.

Рассчитываемая цилиндрическая оболочка имеет высоту 400 мм, внутренний диаметр $2R=100$ мм, толщину стенки $t=5$ мм. Материал – полипропилен с модулем упругости $E=300$ МПа и коэффициентом Пуассона $\mu_f = 0,42$. Материал ядра примем из бетона с начальным модулем упругости $E_b = 24000$ МПа, и коэффициентом Пуассона $\mu_b = 0,2$.

Вертикальная нагрузка 20 кН.

Расчет производим в программном комплексе ЛИРА (рис. 3). Элементы оболочки моде-

лируем универсальным четырехугольным конечным элементом оболочки КЭ 44. Элементы бетонного ядра моделируем универсальным пространственным шестиузловым изопараметрическим конечным элементом КЭ 34.

Согласно вышеприведенного расчета численные решения по безмоментной теории будут иметь следующие значения:

– для продольных напряжений,

$$\sigma_{f2} = \frac{N}{A} = \frac{-1650}{1650} = -1,00 \text{ МПа},$$

– для кольцевых напряжений,

$$\sigma_{f1} = \frac{pR}{t} = \frac{1 \div 50}{5} = 10,00 \text{ МПа}$$

где

$$A = \pi((R+t)^2 - R^2) = 3,142 \cdot (55^2 - 50) = 1650 \text{ мм}^2$$

– площадь поперечного сечения оболочки, продольные перемещения равны

$$u(400) = \frac{1}{\nu_f E_f} \left(\frac{q}{t} - \frac{\mu_f R p}{t} \right) L = \frac{1}{1 \cdot 1190} (-1,00 - 0,42 \cdot 10,00) \cdot 400 = -1,75 \text{ мм}.$$

Площадь бетона

$$A_b = \pi R^2 = 3,1416 \cdot 50^2 = 7854 \text{ мм}^2.$$

Площадь поперечного сечения оболочки

$$A_f = \pi((R+t)^2 - R^2) = 3,142 \cdot (55^2 - 50) = 1650 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Коэффициент приведения } \alpha_f = \frac{E_f}{E_b} = \frac{1190}{24000} = 0,04958.$$

Коэффициенты k_1, k_2 в упругой стадии работы материалов находим по формулам:

$$k_1 = \frac{\left[(1 + \mu_f) \mu_b - 1 \right] \frac{t}{R} + \frac{1}{\alpha_f} (\mu_f^2 - 1)}{\mu_f - \mu_b} = \frac{\left[(1 + 0,20) \cdot 0,42 - 1 \right] \frac{5}{50} + \frac{1}{0,04958} (0,20^2 - 1)}{0,20 - 0,42} = 88,23,$$

$$k_2 = \frac{\left[\mu_b (2\mu_b + 1) - 1 \right] \alpha_f \frac{t}{R} + \mu_b \mu_f - 1}{\mu_f - \mu_b} = \frac{\left[0,42 \cdot (2 \cdot 0,42 + 1) - 1 \right] \cdot 0,04958 \frac{5}{50} + 0,42 \cdot 0,20 - 1}{0,20 - 0,42} = 4,169.$$

Кольцевые и продольные напряжения в оболочке соответственно равны

$$\sigma_{f1} = -\frac{N}{k_1 A_b + k_2 A_f} = -\frac{-20000}{88,23 \cdot 7854 + 4,169 \cdot 1650} = 0,029 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{f2} = \frac{N}{\frac{k_1}{k_2} A_b + A_f} = \frac{-20000}{\frac{88,23}{4,169} 7854 + 1650} = -0,119 \text{ МПа}.$$

Главные напряжения в бетонном ядре будут иметь значения:

$$\sigma_{b3} = \frac{N}{A_b + \frac{k_2}{k_1} A_f} = \frac{-20000}{7854 + \frac{4,169}{88,23} 1650} = -2,521 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{b1} = \sigma_{b2} = -\sigma_{f1} \frac{t}{R} = -(0,029) \frac{5}{50} = -0,0029 \text{ МПа}.$$

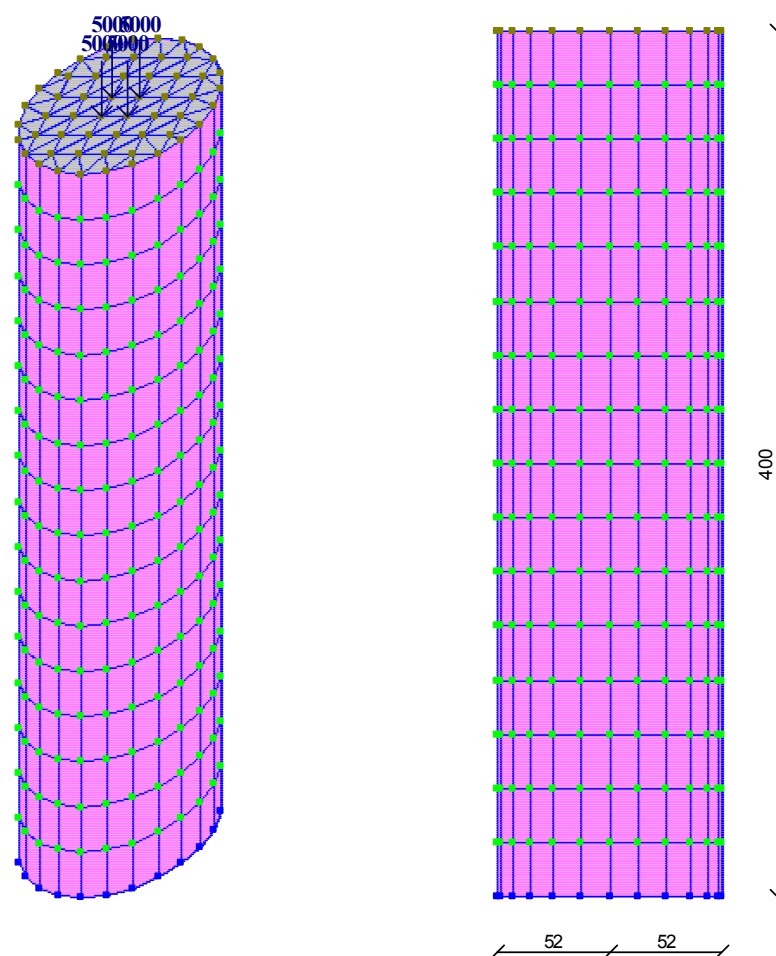


Рис. 3. Конечноэлементная модель короткой ПТБ стойки

Результаты сравнительного анализа НДС ПТБ стойки по безмоментной теории и МКЭ, показавшие близкую сходимость аналитического и численного решений задачи даны в табл. 2.

Таблица 2

Результаты численных исследований

№ п/п	Наименование показателя	Численные значения, полученные расчетом по:		Сходимость аналитического и численного решений задачи, %
		безмоментной теории	МКЭ	
1	Продольные перемещения, мм	-1,75	-1,77	1,1 %
2	Главные напряжения в бетоне σ_{b3} , МПа	-2,517	-2,356	6,8 %
3	Главные напряжения в бетоне σ_{b2} , МПа	0,0033	0,0031	6,5 %
4	Продольные напряжения σ_{f2} , МПа	-0,139	-0,130	6,9 %
5	Кольцевые напряжения σ_{f1} , МПа	-0,033	-0,031	6,5 %
6	Главные напряжения в бетоне σ_{b3} , МПа	-2,521	-2,360	6,8 %
7	Главные напряжения в бетоне σ_{b2} , МПа	-0,0029	-0,0028	3,6 %
8	Продольные напряжения σ_{f2} , МПа	0,029	0,027	7,4 %
9	Кольцевые напряжения σ_{f1} , МПа	-0,119	-0,111	7,2 %

На основании проведенных конечноэлементных и аналитических исследований НДС короткой ПТБ стойки можно сделать вывод о том, что предложенное авторами аналитическое решение задачи совместного рассмотрения условий работы элементов конструкции по безмоментной теории вместе с опорой на экспериментально получаемые деформативные показатели материалов конструкции с инженерной точностью тождественно численному, получаемому методом конечных элементов. Аналитическое решение, позволяющее в широком диапазоне варьировать фактическими свойствами материалов конструкции и гибко учитывать факторы ее действительной работы, позволяет достаточно для проектной практики достоверно определять расчетные перемещения и напряжения коротких ПТБ стоек, что открывает большие возможности для рационального проектирования основанных на ПТБ стойках стеновых элементов зданий и сооружений [10], индивидуализируя их проектные параметры с учетом положения в здании и стадии жизненного цикла объекта, параметризовать стеновые элементы основанных на ПТБ типовых проектов зданий и сооружений в современных BIM-приложениях и существенно сокращать трудоемкость и стоимость не только проектных, но и строительных работ на объекте.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевченко А.В., Наумов А.Е., Долженко А.В. Эффективные трубобетонные конструкции для индивидуального жилищного строительства // Экономика, наука, производство: Сборник научных трудов №28. М.: Изд-во «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», 2015. С. 40–42.
2. Шевченко А.В., Долженко А.В., Наумов А.Е. Исследование прочности трубобетона в пластмассовых трубах на центральное сжатие // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Часть 4. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания ЮКОМ», 2015, С. 172–175.
3. Dolzhenko A., Naumov A., Shevchenko A., Kara K. Experimental Study of Actual Operation of Plastic Tube Concrete Constructions // Advances in Engineering Research. 2017. 133. Pp.175–180.
4. Dolzhenko A., Naumov A., Shevchenko A. Bearing capacity and rigidity of short plastic-concrete-tubal vertical columns under transverse load // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 327, 2018.
5. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем, М., 1963. 984 с.
6. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
7. Филин А.П. Элементы теории оболочек. Изд. 2-е, доп. и перераб. Л.: Стройиздат, 1975. 256 с.
8. Уманский А.А. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Издание второе, в двух книгах, т. 1. Москва, 1972 г.
9. Уманский А.А. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Издание второе, в двух книгах, Т. 2. М.: Стройиздат, 1973. 416 с.
10. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.

Информация об авторах

Долженко Александр Валериевич, старший преподаватель кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. E-mail: dolzhenko.av@bstu.ru; da7182@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Наумов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедры экспертизы и управления недвижимостью. E-mail: naumov.ae@bstu.ru; kafeun@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шевченко Андрей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: andsheff@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Стойкович Ненад, PhD. E-mail: nenad.stoikovic@vtsnis.edu.rs. Высшая техническая школа профессионального образования Ниш. Республика Сербия, 18000, г. Ниш, ул. Александра Медведева 20.

Поступила в августе 2018 г.

© Долженко А.В., Наумов А.Е., Шевченко А.В., Стойкович Н., 2018

^{1,*}**Dolzhenko A.V.**, ¹**Naumov A.E.**, ¹**Shevchenko A.V.**, ²**Stoykovich N.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²The Higher Technical School of Professional Education Nis
Serbia, 18000, Nis, st. Alexander Medvedev 20

*E-mail: dolzhenko.av@bstu.ru

NUMERICAL RESEARCHES OF THE STRESSED-STRAINED STATE OF PLASTIC TUBED CONCRETE PIER UNDER CENTRAL COMPRESSION LOAD

Abstract. Plastic tubed concrete (PTC) piers are considered by modern science as a progressive constructive innovation. It is established that the strength and stiffness of the PTC piers is increased compared to the caseless structures of similar volume and concrete. This makes the design of building structures using the method rational. The increasing of PTC structures' strength under compression may be qualitatively explained by its loading under three-axis compression, but analytical methods and models to calculate the SSS parameters of the structure are not represented in the existing Russian national standards. The lack of theoretical and numerical studies of this type of structural elements is the main reason for further, mathematical modeling and engineering of PTC piers. Generally it could be done based on the considering of the joint work of the cylindrical shell and the concrete core as a main parts of PTC. In the paper the quantitative parameters of SSS during vertical loads for PTC pier were determined using FEM and analytical method according to equivalent stress in Mohr theory of failure. It was figure out the bearing capacity of a short PTC pier under central compression is 25 % higher in resistibility and 15 % higher in rigidness than those of the caseless concrete pier equal in volume. The authors propose the mathematical model of a short PTC pier, have shown applicability of the model for different calculation process.

Keywords: plastic tubed concrete, tubed concrete, triaxial compression, civil structures, strength calculation.

REFERENCES

1. Shevchenko A.V., Naumov A.E., Dolzhenko A.V. Effective tube-concrete constructions for individual housing. Economy, Science, Production: Collection of scientific articles No. 28 - Moscow: Moscow State University of Engineering (MAMI) Publishing House, 2015, pp. 40–42.
2. Shevchenko A.V., Dolzhenko A.V., Naumov A.E., Investigation of the strength of tube concrete in plastic tubes for central compression. Actual problems of education and science: a collection of scientific articles based on international scientific and practical conference. Part 4. Tambov: Ltd Consulting Company YUKOM, 2015, pp. 172–175.
3. Dolzhenko A., Naumov A., Shevchenko A., Kara K. Experimental Study of Actual Operation of Plastic Tube Concrete Constructions. Advances in Engineering Research, 133, 2017. pp. 175–180.
4. Dolzhenko A., Naumov A., Shevchenko A. Bearing capacity and rigidity of short plastic-concrete-tubal vertical columns under transverse load. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 327, 2018.
5. Volmir A.S. Stability of elastic systems, M., 1963, 984 p.
6. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. M.: Stroyizdat, 1996, 416 p.
7. Filin A.P. Elements of the theory of shells. L.: Stroyizdat, 1975, 256 p.
8. Umansky A.A. Reference book for designer of industrial, residential and public buildings and structures. Second edition, in two books, vol. 1., Moscow, 1972.
9. Umansky A. A. Reference book for designer of industrial, residential and public buildings and structures. Second edition, in two books, vol. 2, M.: Stroyizdat, 1973, 416p.
10. Rzhantsyn A.R. The theory of calculation of building structures for reliability. M.: Stroiizdat, 1978, 239 p.

Информация об авторах

Dolzhenko, Alexander V. Senior lecturer. E-mail: da7182@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Naumov, Andrey E. PhD, Assistant professor. E-mail: naumov.ae@bstu.ru; kafeun@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shevchenko, Andrey V. PhD, Assistant professor. E-mail: andsheff@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Stoykovich Nenad, PhD, Assistant professor. E-mail: nenad.stoikovic@vtsnis.edu.rs. The Higher Technical School of Professional Education Nis, Serbia. Serbia, 18000, Nis, st. Alexander Medvedev 20.

Received in August 2018

Для цитирования:

Долженко А.В., Наумов А.Е., Шевченко А.В., Стойкович Н. Численные исследования напряженно-деформированного состояния пластикотрубобетонного центрально-сжатого короткого стержня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 23–32. DOI: [10.12737/article_5bd95a716cf0c5.55926144](https://doi.org/10.12737/article_5bd95a716cf0c5.55926144)

For citation:

Dolzhenko A.V., Naumov A.E., Shevchenko A.V., Stoykovich N. Numerical researches of the stressed-strained state of plastic tubed concrete pier under central compression load. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 23–32. DOI: [10.12737/article_5bd95a716cf0c5.55926144](https://doi.org/10.12737/article_5bd95a716cf0c5.55926144)

DOI: 10.12737/article_5bd95a725020e3.98104960

^{1,*}Нгуен Чонг Чык, ¹Танг Ван Лам, ¹Булгаков Б.И., ¹Александрова О.В., ¹Ларсен О.А.,
¹Булычева А.С., ¹Макарова М.Н.

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

*E-mail: ntchuc.mta198@gmail.com

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В МОСТОВОЙ ОПОРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭСТАКАДЫ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

Анотация. За последние годы во многих странах мира, в том числе и во Вьетнаме, построено большое количество крупномасштабных сооружений с использованием монолитных бетонных конструкций. Области применения таких конструкций обширны и включают строительство морских сооружений, возведение высотных гидроэнергетических плотин, сооружение автомобильных эстакад на скоростных шоссе и др. Однако, повреждение и растрескивание конструкций, вызванное возникающими температурными напряжениями из-за высокой экзотермии реакции гидратации минеральных вяжущих веществ в раннем возрасте твердения бетона, становятся всё более распространенными и сильно сказываются на их надёжности и долговечности эксплуатации.

В работе для определения состава тяжёлого бетона, предназначенного для строительства массивных мостовых опор автомобильных эстакад, был использован вьетнамский стандарт TCVN 9382–2012. Оценка возможности трещинообразования в бетонной опоре моста в раннем возрасте твердения бетона была выполнена путём анализа температурного поля опоры и возникающего в ней термонапряжённого состояния.

В результате проведённых исследований была доказана возможность получения требуемого тяжёлого бетона из местных сырьевых материалов Вьетнама, с удобоукладываемостью бетонной смеси по осадке стандартного конуса 14 см, обладающего средней прочностью на сжатие 34,7 МПа и прочностью на растяжение при изгибе 3,0 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения. С помощью компьютерной программы Midas Civil были определены максимальные температуры в центральной зоне бетонной конструкции на всех трёх этапах строительства опоры моста, которые составили, соответственно, 72,82 °С через 72 часа, 75,02 °С через 312 часов и 74,82 °С через 480 часов от начала затворения смеси сырьевых материалов водой. Кроме того, было установлено, что на первом этапе возведения мостовой опоры из монолитного бетона к 72 часам его твердения величина растягивающего напряжения на наружной боковой и в нижней части исследованной конструкции превышает прочность бетона на растяжение при изгибе в этом возрасте, что может привести к образованию трещин на поверхности бетонного фундамента опоры моста. К 312 и 480 часам твердения бетона величина растягивающего напряжения, возникающего на боковой и в верхней части возводимой мостовой опоры, тоже превышает его прочность на растяжение при изгибе, что также может привести к образованию трещин в указанных местах конструкции.

Ключевые слова: прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе, трещинообразование, мостовая опора, фундамент опоры, максимальная температура, температурное поле, термонапряжённое состояние.

Введение. В современном строительстве во многих странах мира всё большее применение находят индустриальные методы возведения монолитных железобетонных конструкций с помощью комплексных систем, обеспечивающих ввод в эксплуатацию крупномасштабных и многоэтажных объектов в кратчайшие сроки и без больших капитальных затрат, требуемых на строительство и последующую эксплуатацию заводов сборных изделий и конструкций.

Во Вьетнаме в последнее время широкое распространение получило строительство из монолитного железобетона высотных зданий, большепролётных мостов, обширных подземных и

многих других сооружений, в том числе автомобильных шоссе эстакад.

Однако в массивных конструкциях, в том числе и в мостовых опорах (рис. 1), в процессе твердения бетона его растворная составляющая может дать усадку, при этом в зоне её контакта с более жёсткими зёрнами заполнителя появляются усадочные трещины [1, 2]. Кроме того, из-за больших размеров твердеющих конструкций тепло, выделяющееся в процессе гидратации вяжущего вещества, сложно перераспределить из внутренних слоёв наружу, что приводит к возникновению в их теле термических напряжений [3–6].



Рис. 1. Строительство массивной мостовой опоры во Вьетнаме

Поэтому значительное тепловыделение при гидратации цемента может привести к возникновению чрезмерных растягивающих напряжений из-за появления экстремальных температурных градиентов, результатом которых зачастую становятся трещины как в центре, так и на поверхности конструкций, что снижает их прочность, надёжность и работоспособность, а, следовательно, долговечность зданий и сооружений [7–11].

Поэтому определение температурного поля и термонапряжённого состояния чрезвычайно важно для оценки вероятности возникновения трещин в бетонных конструкциях в раннем возрасте твердения бетона [12–14]. Однако, анализ температурного режима в подобных массивных бетонных конструкциях достаточно сложен ввиду их пространственной формы и влияния многих внутренних и внешних факторов. В связи с этим, при проектировании монолитных железобетонных конструкций во многих странах мира, в том числе и во Вьетнаме, в настоящее время главным образом используют приближенные расчётные методы. В последние годы для решения указанной температурной задачи и с целью наиболее полного учёта влияния различных факторов широко применяют численные методы, в частности метод конечных элементов, в сочетании с различными компьютерными программами, например, Midas Civil, Ansys, Adina, Abaqus и др. [15–17].

В данной работе с помощью вьетнамского стандарта TCVN 9382–2012 был рассчитан расход сырьевых материалов на 1 м³ бетонной смеси, определены свойства бетонной смеси и

бетона на её основе, предназначенного для строительства мостовых опор автомобильных эстакад, а также с помощью компьютерной программы Midas Civil рассчитаны максимальная температура, температурное поле и термонапряжённое состояние в возводимой бетонной опоре. Далее была произведена оценка возможности появления термических трещин в теле мостовой опоры из монолитного бетона при её строительстве.

Материалы:

- портландцемент (Ц) ЦЕМ I 42,5 Н производства завода «Там Диеп» (Вьетнам) с истинной плотностью 3140 кг/м³ и максимальным тепловыделением в период гидратации 312 кДж/кг;
- кварцевый песок (П) реки Ло (Вьетнам) с модулем крупности $M_k = 3,0$, истинной плотностью 2650 кг/м³ и средней насыпной плотностью в уплотненном состоянии 1650 кг/м³;
- известняковый щебень (Щ) из карьера «Киен Кхе» (Вьетнам) смешанной фракции 5–20 мм с истинной плотностью 2650 кг/м³ и средней насыпной плотностью в уплотненном состоянии 1535 кг/м³;
- водопроводная питьевая вода в качестве воды затворения для получения бетонной смеси.

Методология:

- для определения составов бетонной смеси использовали стандарт TCVN 9382 – 2012 (СРВ);
- удобоукладываемость бетонной смеси оценивали по осадке конуса (ОК) в см с помощью стандартного конуса с размерами 100×200×300 мм в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 10181-2014;
- прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе определяли на бетонных образцах в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012;
- среднюю плотность бетона оценивали по ГОСТ 12730.1-78;
- для определения тепловыделения в период гидратации цемента использовали стандарт ASTM C186-17;
- с помощью компьютерной программы MIDAS CIVIL были рассчитаны максимальная температура, температурное поле и термонапряжённое состояние в бетоне мостовой опоры для оценки возможности появления термических трещин в теле опоры моста из монолитного бетона при её возведении.

Основная часть

1. Объект исследования

Объектом исследования являлась мостовая опора из монолитного бетона. В начале требовалось определить состав бетонной смеси для получения тяжёлого бетона с требуемыми свойствами, предназначенного для строительства

опоры моста, изображённой на рис. 2, на двухъярусной шоссейной развязке в северной части Вьетнама в летний период.

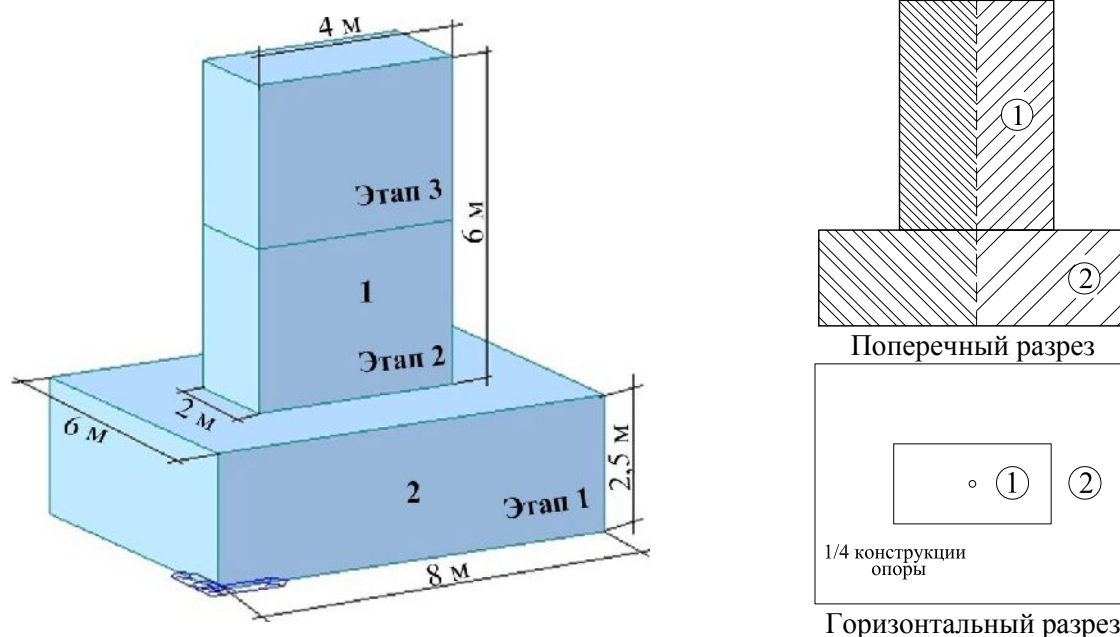


Рис. 2. Эскиз и разрезы опоры моста, возводимой из монолитного бетона
1 – вертикальная промежуточная часть опоры; 2 – фундамент мостовой опоры

2. Расчет состава бетонной смеси для мостовой опоры

Разрабатываемый бетон должен обладать:

- удобоукладываемостью бетонной смеси по осадке стандартного конуса 12–15 см;
- средней прочностью на сжатие в возрасте 28 суток порядка 30 МПа;
- относительным объёмом вовлеченного воздуха не более 1 %.

Для определения состава бетонной смеси, обладающей указанной удобоукладываемостью и позволяющей получить бетон с прочностью на

сжатие не менее 30 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения, был использован стандарт TCVN 9382–2012. Экспериментальные результаты испытаний полученной бетонной смеси и бетона на её основе приведены в табл. 1 и 2.

Из приведённых в табл. 1 и 2 экспериментальных результатов следует, что рассчитанный состав бетонной смеси заданной удобоукладываемости позволяет получить бетон требуемой прочности на сжатие не менее 30 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения.

Таблица 1

Состав и свойства бетонной смеси

Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг				Свойства бетонной смеси		
Ц	П	Щ	В	$\frac{B}{C}^{(*)}$	Средняя расчётная плотность, кг/м ³	Осадка конуса, см
405	457	1202	235	0,58	2299	14

Примечание: ^(*) отношение $\frac{B}{C}$ по массе.

Таблица 2

Свойства разработанного бетона

№ образца	Плотность бетона, кг/м ³	Средняя прочность на сжатие в разных возрастах твердения, МПа			Прочность на растяжение при изгибе в возрасте 28 сут., МПа
		3 сут.	7 сут.	28 сут.	
1	2283	19,5	24,7	33,4	2,85
2	2278	18,4	26,3	34,1	3,0
3	2275	20,1	29,5	36,5	3,15
Средняя	2279	19,3	26,8	34,7	3,0

3. Расчет температурного режима и термонапряженного состояния в мостовой опоре при твердении бетона в нормальных условиях

В данной работе с помощью компьютерной программы Midas Civil и метода конечных элементов был проведен анализ температурного режима в бетонной опоре моста при её возведении, а также определено термонапряжённое состояние. Состав разработанного бетона представлен в табл. 2.

Согласно результатам исследования [18], когда растягивающее напряжение, возникающее в бетоне, становится выше, чем его прочность на растяжение, то в нём будут появляться трещины.

Для учета влияния температуры воздуха на температурное поле в бетонируемом массиве

были использованы результаты работы [19], согласно которой летние температуры в Северном Вьетнаме меняются в соответствии с уравнением:

$$t_{\text{воз}} = 26,5 + 5 \sin\left(\frac{2\pi\tau}{24}\right) \quad (1)$$

где $t_{\text{воз}}$ – средняя дневная температура воздуха, °С и τ – время, ч.

В табл. 3 представлены свойства тяжёлого бетона разработанного состава, которые были использованы в качестве входных данных для анализа температурного поля и термонапряжённого состояния в бетоне мостовой опоры при её возведении.

Таблица 3

Характеристики разработанного бетона

№	Показатели	Значения показателей
1	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	2,31
2	Удельная теплоёмкость, кДж/(кг·°С)	0,96
3	Средняя плотность, кг/м ³	2279
4	Коэффициент теплопередачи с открытой поверхности бетон – воздух, Вт/(м ² ·°С)	13,88
5	Модуль упругости, Н/м ² [20]	$2,56 \cdot 10^{10}$
6	Коэффициент линейного термического расширения, 1/°С [21]	$1,0 \cdot 10^{-5}$
7	Коэффициент Пуассона [21]	0,20
8	Максимальное тепловыделение при гидратации цемента, кДж/кг	312
9	Расход цемента, кг/м ³	405
10	Средняя прочность на сжатие, МПа	34,7
11	Средняя прочность на растяжение при изгибе, МПа	3,0
12	Температура бетонной смеси, °С	25
13	Температура грунтового основания опоры моста, °С	20

Возведение исследований мостовой опоры происходило в три этапа (рис. 2):

- этап 1 – строительство фундамента опоры моста;
- этап 2 – строительство нижней половины вертикальной промежуточной части опоры с поверхности её фундамента на высоту +3 м;
- этап 3 – строительство верхней половины вертикальной части опоры с высоты +3 м до высоты +6 м.

Поскольку исследованная опора обладает свойствами симметрии, то для уменьшения количества вычислений в данной работе анализировалась 1/4 часть её конструкции (рис. 2).

Результаты анализа температурного поля и термонапряжённого состояния на всех трёх этапах строительства мостовой опоры из монолитного бетона представлены на рис. 3–5, а сравнение расчетной прочности бетона на растяжение при изгибе с величиной максимального растягивающего напряжения, возникающего в возводимой опоре – в табл. 4.

Из полученных результатов, приведённых на рис. 3, следует, что максимальная температура в центре фундамента опоры после 72 часов твердения бетона составляет $T_{\text{max}} = 72,82$ °С. После этого температура начинает снижаться (рис. 3, а). Кроме того, из рис. 3, б, видно, что максимальное растягивающее напряжение на наружной боковой поверхности и в нижней части фундамента, составляет 3,59 МПа в возрасте 72 часов, что превышает прочность бетона на растяжение при изгибе, равную 1,6 МПа в том же возрасте (табл. 4). Следовательно, на наружной поверхности и в нижней части фундамента мостовой опоры создаются условия для образования трещин.

Из полученных результатов, изображённых на рис. 4, следует, что максимальная температура в центре нижней половины вертикальной промежуточной части опоры после 312 часов твердения бетона составляет $T_{\text{max}} = 75,02$ °С. После этого температура тоже начинает снижаться (рис. 4, а). Кроме того, из рис. 4, б отчётливо видно, что максимальное растягивающее напряжение на

наружной боковой поверхности и в верхней части опоры моста, равное 3,6 МПа в возрасте 312 часов также превышает прочность бетона на растяжение при изгибе 2,3 МПа, достигаемую к

этому времени твердения (табл. 4). Таким образом, в этих местах возводимой опоры тоже появляются условия для возникновения трещин из-за выделения тепла при гидратации цемента.

Таблица 4

Сравнение прочности бетона на растяжение при изгибе с максимальным растягивающим напряжением в возводимой опоре

Показатели	Возраст твердения бетона		
	72 часа	312 часов	480 часов
Максимальное растягивающее напряжение, МПа	3,59	3,6	3,37
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	1,6	2,3	2,8

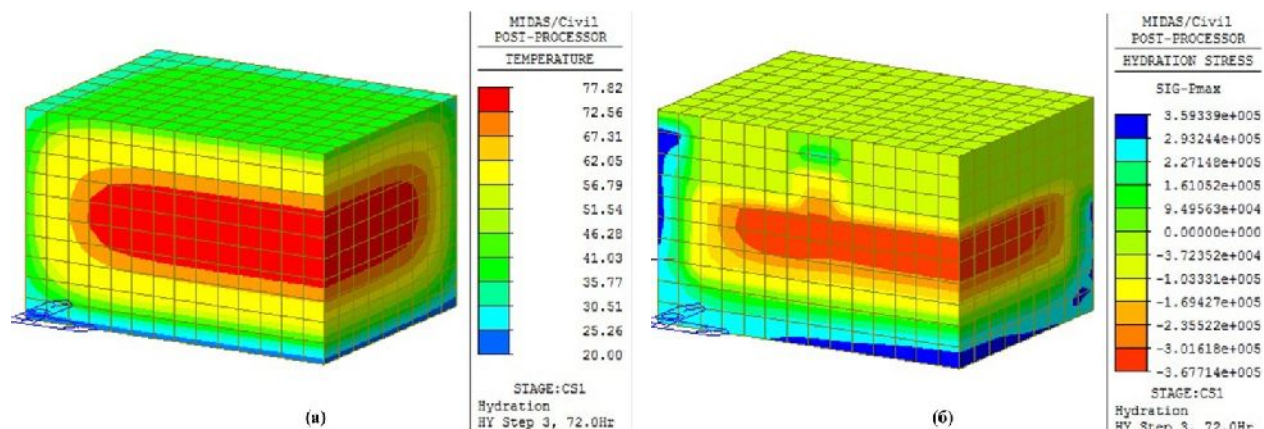


Рис. 3. Температурное поле (а) и термонапряжённое состояние (б) в центре бетонного фундамента мостовой опоры через 72 часов от начала её возведения (этап 1)

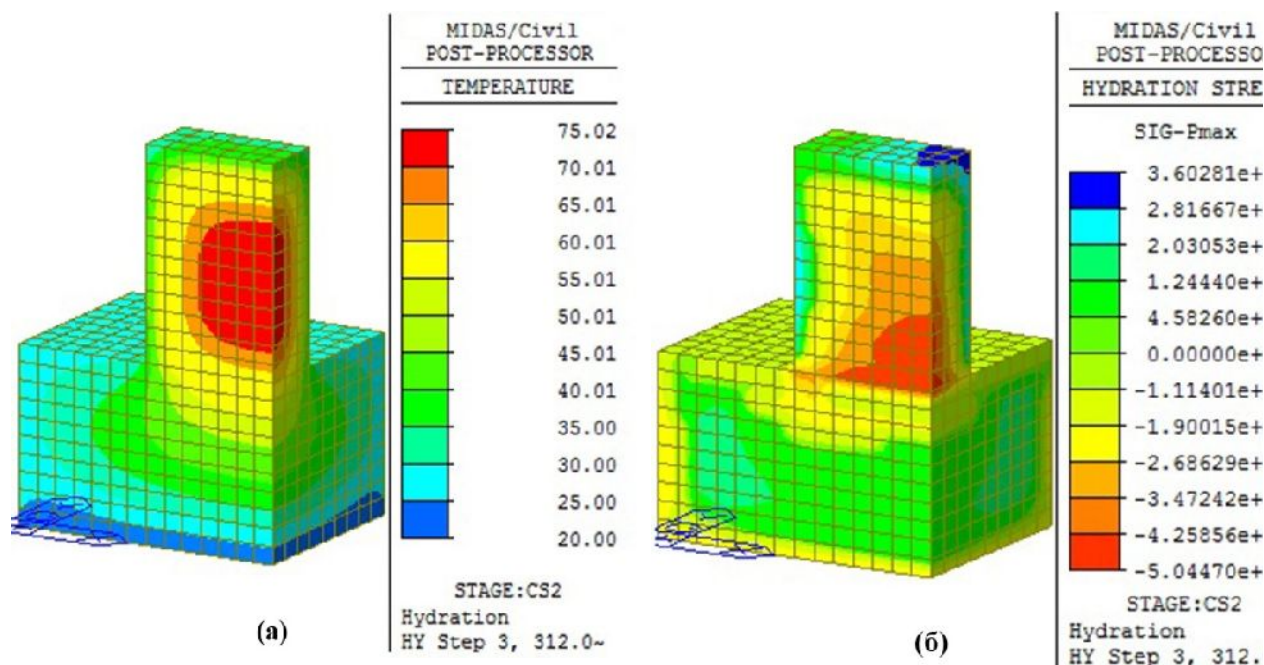


Рис. 4. Температурное поле (а) и термонапряжённое состояние (б) в центре нижней половины вертикальной промежуточной части опоры моста через 312 часов от начала её возведения (этап 2)

Из полученных результатов, показанных на рис. 5, следует, что максимальная температура в центре верхней половины вертикальной промежуточной части опоры после 480 часов твердения бетона составляет $T_{\max} = 74,82$ °C. После

этого температура также снижается (рис. 5, а). Кроме того, из рис. 5, б следует, что максимальное растягивающее напряжение на наружной боковой поверхности и вверху вертикальной части

опоры моста, равное 3,37 МПа в возрасте 480 часов превышает прочность бетона на растяжение при изгибе, значение которой к указанному достигает всего 2,8 МПа (табл. 4). То есть, на

наружной поверхности и в верхней части возводимой мостовой опоры на высоте 6 м тоже возникают условия для появления трещин.

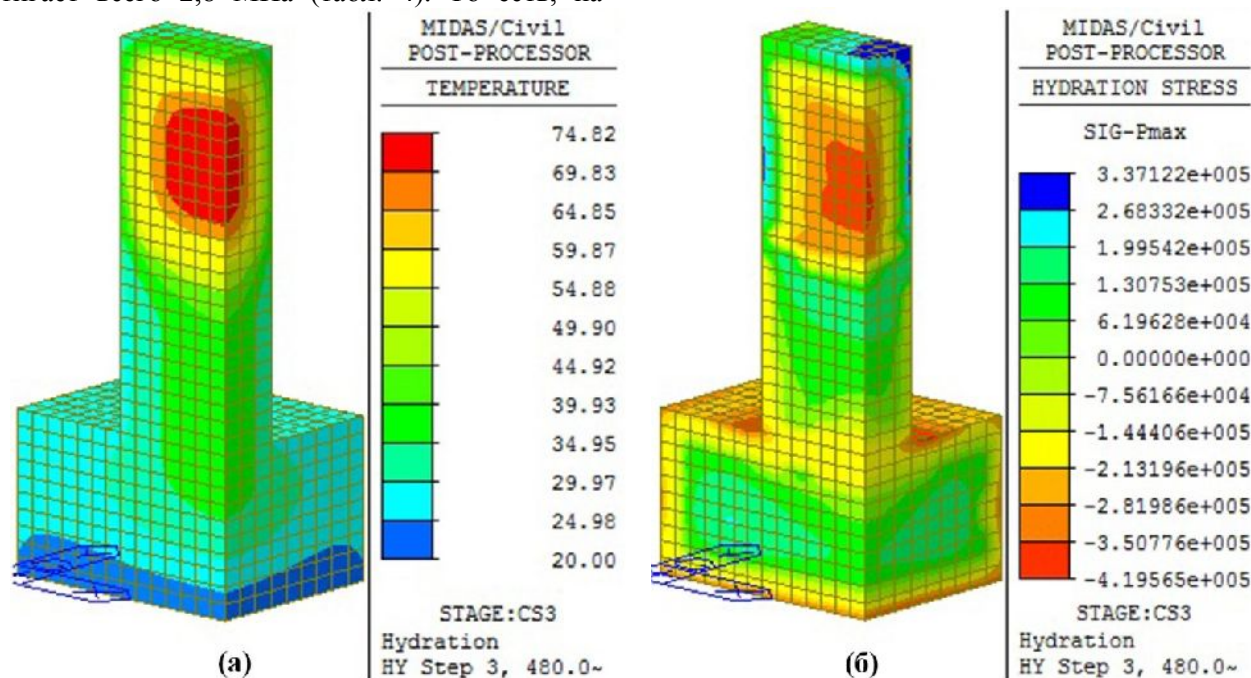


Рис. 5. Температурное поле (а) и термонапряжённое состояние (б) в центре верхней половины вертикальной промежуточной части опоры моста через 480 часов от начала её возведения (этап 3)

Приведённые выше результаты показывают, что для предотвращения появления трещин в монолитной конструкции необходимо обеспечить уход за бетоном во время его твердения. Для этого поверхность фундамента и вертикальной промежуточной части опоры моста необходимо периодически увлажнять в раннем возрасте твердения бетона.

Выводы. На основе полученных результатов проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Была доказана возможность получения тяжёлого бетона из местных для Вьетнама сырьевых материалов с удобоукладываемостью бетонной смеси по осадка стандартного конуса 14 см, обладающего средней прочностью на сжатие 34,7 МПа и прочностью на растяжение при изгибе 3,0 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения, пригодного для возведения мостовых опор шоссейных эстакад.

2. С помощью компьютерной программы Midas Civil были определены максимальные температуры в центральной зоне бетонной конструкции на всех трёх этапах строительства опоры моста, которые составляли соответственно, 72,82 °C через 72 часа, 75,02 °C через 312 часов и 74,82 °C через 480 часов от начала затворения смеси сырьевых материалов водой.

3. На первом этапе строительства фундамента опоры к 72 часам твердения бетона величина растягивающего напряжения на наружной боковой и в нижней части конструкции превышает прочность бетона на растяжение при изгибе в этом возрасте, что может привести к образованию трещин.

4. На втором и третьем этапах возведения вертикальной промежуточной части мостовой опоры к 312 и 480 часам твердения бетона величина растягивающего напряжения, возникающего на её боковой поверхности и в верхней части, также превышает прочность бетона на растяжение при изгибе в данных возрастах, что тоже может привести к образованию трещин в указанных местах конструкции.

Поэтому, для предотвращения трещинообразования в исследованной мостовой опоре, возводимой из монолитного бетона в условиях жаркого климата Северного Вьетнама, необходимо обеспечить уход за бетоном во время его твердения и особенно в раннем возрасте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lee Y, Kim J-K. Numerical analysis of the early age behaviour of concrete structures with a hydration based micro plane model // Comput. Struct. 2009. Vol. 87. Pp. 1085–101.

2. Vietnam Electricity Corporation. Report of cracks occurring at RCC dam in Son La hydropower plant, Hanoi, 2009, 86 p.
3. Shengxing Wu, Donghui Huang, Feng-Bao Lin, Haitao Zhao, Panxiu Wang, Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis // *Therm. Anal. Calorim.* 2011. Vol. 105. Pp. 171–186. DOI 10.1007/s10973-011-1512-y.
4. Cui W., Chen W., Wang N, Thermo-hydro-mechanical coupling analysis of early-age concrete with behavioural changes considered and its application // *China Civil Engineering Journal.* 2015. Vol. 48(2). Pp. 44–53.
5. Holt E, Leivo M. Cracking risks associated with early age shrinkage // *Cem. Concr. Compos.* 2004. Vol. 26 (5). Pp. 521–530.
6. Yuan Y, Wan ZL. Prediction of cracking within early-age concrete due to thermal, drying and creep behaviour // *Cem. Concr. Res.* 2002. Vol. 32 (7). Pp. 1053–1059.
7. Wu Y, Luna R. Numerical implementation of temperature and creep in mass concrete // *Finite Elem. Anal. Des.* 2001; 37(2): 97–106.
8. Amin MN, Kim J-S, Lee Y, Kim J-K. Simulation of the thermal stress in mass concrete using a thermal stress measuring device. *Cem. Concr. Res.* 2009. Vol. 39(3). Pp. 154–64.
9. Adrian M. Lawrence, A finite element model for the prediction of thermal stresses in mass concrete. University of Florida, 2009, 177 p.
10. Van Breugel K, Koenders Eab. Effect on solar radiation on the risk of cracking in young concrete // *Delft University of Technology.* 2001, Report, BE96-3843.
11. De Schutter G. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws // *Comput. Struct.* 2002. Vol. 80. Pp. 2035–42.
12. Kjellman O, Olofsson J. 3D structural analysis of crack risk in hardening concrete structures. Verification of a three-step engineering method; 1999. Contract No.: TG 4/N2.
13. Zhu Bofang, Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. Published by Elsevier Inc., 2014, 487 p.
14. Bui Duc Vinh, Nguyen Van Chanh, Chu Quoc Thang. Thermal – stress analysis of early- age concrete structures for cracking control of reinforce concrete structures. Workshop on "Incidents and damages of construction works". 2010, pp. 87–94.
15. Ho Ngoc Khoa, Vu Chi Cong. Analysis of temperature and heat stress in mass concrete structures by finite element method // *Journal of Building Science and Technology.* 2012. Vol. 14 (12). Pp. 17–27.
16. Копылов В.Д., Нгуен Куи Дык, Хо Нгок Кхоа. Физические процессы, протекающие в твердеющем в жарком климате бетоне // *Промышленное и гражданское строительство.* 2012. №5. С. 45–52.
17. MIDAS Information Technology, Heat of Hydration- Analysis Manual, Version – 2011, 256 p.
18. Francisco Diaz, Rikard Johansson. Early-Age Thermal Cracking in Concrete: A FE-Modelling approach. Master's Thesis in the Master's Programme in Structural Engineering and Building Technology. Göteborg, Sweden, 2016, 161 p.
19. Report on the analysis of thermal stresses of roller compacted concrete dams in Vietnam. Ministry of construction of Vietnam, 04 - 2014, 250 p.
20. Hichem Mazighi, Mustapha Kamel Mihoubi, Khaled Ghaedi, Zainah Ibrahim. Study of uplift pressure effect in roller compacted concrete gravity dam. 37th Annual USSD Conference Anaheim, California, April 3-7, 2017. 20 p.
21. Abdallah I. Husein Malkawi; Saad A. Muasher; and Tony J. Qiu, Thermal - Structural Modeling and Temperature Control of Roller Compacted Concrete Gravity Dam. *Journal of Performance of Constructed facilities ASCE*, November, 2003, DOI:10.1061/ ~ASCE!0887-3828~2003!17:4 ~177.

Информация об авторах

Нгуен Чонг Чык, аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства. E-mail: ntchuc.mta198@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Танг Ван Лам, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: lamvantang@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Булгаков Борис Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: fakultetst@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Александрова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: aleks_olvl@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Ларсен Оксана Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: larsen.oksana@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Булычева Анастасия Сергеевна, студент. E-mail: abulycheva1995@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Макарова Мария Николаевна, студент. E-mail: m_mariya1996@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в мае 2018 г.

© Нгуен Чонг Чык, Танг Ван Лам, Булгаков Б. И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Булычева А.С., Макарова М.Н., 2018

^{1,*}Nguyen Trong Chuc, ¹Tang Van Lam, ¹Bulgakov B.I., ¹Alexandrova O.V., ¹Larsen O.A.,
¹Bulycheva A.S., ¹Makarova M.N.

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering
Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26

*E-mail: ntchuc.mta198@gmail.com

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF CRACKS IN THE BRIDGE SUPPORT OF THE ROAD OVERPASS IN THE EARLY AGE CONCRETE

Abstract. In recent years, plenty of large-scale constructions with the use of monolithic concrete structures are built in many countries, including Vietnam. The use of such structures is extensive. It includes construction of marine facilities, erecting of hydro-power dams, road overpass on the highway and etc. However, the damage of structures caused by temperature tension is widespread and influences the reliability of exploitation. The damage occurs due to the high exotherm reaction of mineral binders hydration at early age of concrete hardening.

In the research, the Vietnamese standard TCVN 9382 - 2012 is used to determine the composition of heavy concrete, designed to construct the massive bridge support of road overpass. The possibility of crack formation in the concrete support of the bridge at an early age of concrete hardening is evaluated by analyzing the temperature field of the support and the resulting thermally stressed condition.

The conducted study proves the possibility of obtaining heavy concrete from local raw materials in Vietnam, with the workability of concrete mix at the sediment cone of a standard 14 cm, with an average compressive strength to 34.7 MPa and flexural strength 3.0 MPa at the age of 28 days of normal hardening. The computer program Midas Civil helps to determine the maximum temperature in the Central zone of the concrete structure during all three stages of bridge support construction. It is amounted to 72,82 °C in 72 hours, 75,02 °C in 312 hours and 74,82 °C in 480 hours from the commencement of mixing raw materials with water. In addition, it is found that on the first stage of bridge support construction made of monolithic concrete, after 72 hours of hardening, the tensile stress magnitude on the outer side and the lower part of the investigated areas of the structure exceeds the strength of the concrete under bending tension, which can lead to the formation of cracks on the surface of concrete base of the bridge support. After 312 and 480 hours of concrete hardening, the tensile stress occurs at the side and at the top of the erected bridge support; it exceeds flexural strength, which can lead to the formation of cracks in the designated areas of the structure.

Keywords: compressive strength, flexural strength, cracking, bridge support, foundation supports, maximum temperature, temperature field, thermal stress condition.

REFERENCES

1. Lee Y, Kim J-K. Numerical analysis of the early age behaviour of concrete structures with a hydration based micro plane model. Comput. Struct, 2009, vol. 87, pp. 1085–101.
2. Vietnam Electricity Corporation. Report of cracks occurring at RCC dam in Son La hydropower plant, Hanoi, 2009, 86 p.

3. Shengxing Wu, Donghui Huang, Feng-Bao Lin, Haitao Zhao, Panxiu Wang, Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis. J. Therm. Anal. Calorim, 2011, vol. 105, pp. 171–186. DOI 10.1007/s10973-011-1512-y.
4. Cui W., Chen W., Wang N, Thermo-hydro-mechanical coupling analysis of early-age concrete

with behavioural changes considered and its application. *China Civil Engineering Journal*, 2015, vol. 48(2), pp. 44-53.

5. Holt E, Leivo M. Cracking risks associated with early age shrinkage. *Cem. Concr. Compos.* 2004, vol. 26 (5), pp. 521-530.

6. Yuan Y, Wan ZL. Prediction of cracking within early-age concrete due to thermal, drying and creep behavior. *Cem. Concr. Res.* 2002, vol. 32 (7), pp. 1053-1059.

7. Wu Y, Luna R. Numerical implementation of temperature and creep in mass concrete. *Finite Elem. Anal. Des.* 2001, vol. 37(2), pp. 97-106.

8. Amin MN, Kim J-S, Lee Y, Kim J-K. Simulation of the thermal stress in mass concrete using a thermal stress measuring device. *Cem. Concr. Res.* 2009, vol. 39(3), pp. 154-64.

9. Adrian M. Lawrence, A finite element model for the prediction of thermal stresses in mass concrete. University of Florida, 2009, 177 p.

10. Van Breugel K, Koenders Eab. Effect on solar radiation on the risk of cracking in young concrete, Delft University of Technology, 2001. Report, BE96-3843.

11. De Schutter G. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws. *Comput. Struct.* 2002, vol. 80, pp. 2035-42.

12. Kjellman O, Olofsson J. 3D structural analysis of crack risk in hardening concrete structures. Verification of a three-step engineering method; 1999. Contract No.: TG 4/N2.

13. Zhu Bofang, Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. 2014. Published by Elsevier Inc., 487 p.

14. Bui Duc Vinh, Nguyen Van Chanh, Chu Quoc Thang. Thermal – stress analysis of early- age concrete structures for cracking control of reinforce concrete structures. Workshop on "Incidents and damages of construction works". 2010, pp. 87-94.

15. Ho Ngoc Khoa, Vu Chi Cong. Analysis of temperature and heat stress in mass concrete structures by finite element method. *Journal of Building Science and Technology*, 2012, vol. 14 (12), pp. 17-27.

16. Kopylov V.D., Nguyen Qui Duc, Ho Ngoc Khoa. Physical processes occurring in hardening concrete in hot climates. *Industrial and Civil Construction*, 2012, no. 5, pp. 45-52.

17. MIDAS Information Technology, Heat of Hydration- Analysis Manual, Version – 2011, 256 p.

18. Francisco Diaz, Rikard Johansson. Early-Age Thermal Cracking in Concrete: A FE-Modelling approach. Master's Thesis in the Master's Programme in Structural Engineering and Building Technology. Göteborg, Sweden, 2016, 161 p.

19. Report on the analysis of thermal stresses of roller compacted concrete dams in Vietnam. Ministry of construction of Vietnam, 04 - 2014, 250 p.

20. Hichem Mazighi, Mustapha Kamel Mihoubi, Khaled Ghaedi, Zainah Ibrahim. Study of uplift pressure effect in roller compacted concrete gravity dam. 37th Annual USSD Conference Anaheim, California, April 3-7, 2017, 20 p.

21. Abdallah I. Husein Malkawi; Saad A. Mutasher; and Tony J. Qiu. Thermal - Structural Modeling and Temperature Control of Roller Compacted Concrete Gravity Dam. *Journal of Performance of Constructed facilities ASCE*, November, 2003, DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3828(2003)17:4(177).

Information about the author

Nguyen Trong Chuc, Postgraduate student. E-mail: ntchuc.mta198@gmail.com. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Tang Van Lam, Postgraduate student. E-mail: lamvantang@gmail.com. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Bulgakov, Boris I. PhD, Associate Professor. E-mail: fakultetst@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Aleksandrova, Olga V. PhD, Associate Professor. E-mail: aleks_olvl@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Larsen, Oksana A. PhD, Associate Professor. E-mail: larsen.oksana@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Bulycheva, Anastasia S. Bachelor student. E-mail: abulycheva1995@gmail.com. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Makarova, Maria N. Bachelor student. E-mail: m_mariya1996@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Received in May 2018

Для цитирования:

Нгуен Чонг Чык, Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Булычева А.С., Макарова М.Н. Оценка возможности появления трещин в мостовой опоре автомобильной эстакады в раннем возрасте твердения бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 33–42. DOI: 10.12737/article_5bd95a725020e3.98104960

For citation:

Nguyen Trong Chuc, Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen O.A., Bulycheva A.S., Makarova M.N. Assessment of the possibility of cracks in the bridge support of the road overpass in the early age concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 33–32. DOI: 10.12737/article_5bd95a725020e3.98104960

DOI: 10.12737/article_5bd95a73a46853.19300139

^{1,*}Тухфатуллин Б.А., ¹Путеева Л.Е., ¹Григорьев А.И., ¹Раков В.Д.¹Томский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 634003, Томск, пл. Соляная, д. 2

*E-mail: bat9203@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА СМЕШАННОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЁТА УСИЛЕНИЯ СТАЛЬНОЙ СТРОПИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы применения, разработанного ранее специального конечного элемента смешанного метода, предназначенного для определения внутренних усилий и перемещений в плоских стержневых системах. Рассчитываемые системы состоят из стержней двутаврового поперечного сечения, имеющих от одного до трёх элементов усиления. Обе полки или стенка усиливаются стальными листами с заданными размерами поперечного сечения и известными координатами начала и конца мест их расположения. Решение поставленной задачи осуществляется методом конечных элементов в форме смешанного метода, для чего получены формулы вычисления матрицы откликов и вектора грузовых коэффициентов; при вычислении интегралов используется численная процедура. Выполнен расчёт плоской стальной стропильной системы, состоящей из основной балки двутаврового сечения, надколонников, подкосов и затяжки. В качестве элементов усиления основной балки использованы стальные накладки, размещаемые на верхней и нижней полках в месте опирания балки на подкосы. Результаты расчёта по предложенному алгоритму сравнивались с результатами, полученными в программном комплексе ЛИРА САПР. Показано преимущество предложенного в статье подхода для решения задач усиления.

Ключевые слова: специальный конечный элемент, смешанный метод, усиление наращиванием сечения, матрица откликов.

Введение. Модернизация промышленного производства зачастую требует реконструкции зданий и сооружений, что в свою очередь приводит к необходимости усиления их несущих элементов. При усилении стальных каркасов наиболее распространённым приёмом является способ наращивания сечения, при котором усиливается не вся конструкция, а наиболее напряжённые её части [1–3]. Усиление элементов, имеющих поперечное сечение в виде прокатного или составного двутавра, производится стальными листами, привариваемыми к полкам или стенке. С целью экономии материала, расходуемого на усиление, данная задача может быть поставлена как задача оптимального проектирования [4–7], в том числе при проектировании новой конструкции, когда с точки зрения экономии материала рациональной является конструкция переменного по длине поперечного сечения. В настоящее время подобные конструкции достаточно часто применяются в мостостроении [8], и существенно реже в промышленном и гражданском строительстве [9, 10].

Задача определения усилий и перемещений в стержневых системах, имеющих элементы усиления, может быть решена с применением программных комплексов [11, 12], использующих конечные элементы (КЭ) двух типов: стержневого КЭ и КЭ оболочки. Для каждого рассчитываемого варианта усиления конечно-элементную модель приходится создавать заново, что явля-

ется нерациональным с точки зрения времени, затрачиваемого на принятие проектного решения. В связи с этим обстоятельством в работе [13] предложен специальный КЭ смешанного метода, предназначенный для расчёта плоских стержневых систем, элементы которых имеют поперечное сечение в виде прокатного или составного двутавра с двумя осями симметрии. Количество элементов усиления на одном КЭ ограничивается тремя; в зависимости от выбранного способа усиливаться могут либо обе полки, либо стенка. В качестве исходной информации должны быть заданы: способ усиления, размеры усиливающего элемента, координаты начала и конца участка усиления (рис. 1).

Методология. Решение поставленной задачи осуществляется методом конечных элементов (МКЭ) в форме смешанного метода [14, 15]. Основная система смешанного метода получается из заданной (рис. 2, а) за счёт врезания шарниров во все узлы системы и последующего добавления линейных связей, обеспечивающих геометрическую неизменяемость (рис. 2, б). Таким образом, в качестве неизвестных принимаются горизонтальные и вертикальные перемещения узлов системы и внутренние усилия (изгибающие моменты) по концам КЭ.

Разрешающая система уравнений смешанного метода включает в себя уравнения двух групп. Первая группа выражает условие равенства нулю реакций в добавленных связях;

вторая – условие равенства нулю перемещений по направлению отброшенных связей:

$$\begin{aligned} [B] \cdot \{X\} + \{D\} &= \{0\}; \\ \{X\} &= \begin{Bmatrix} Z \\ M \end{Bmatrix}; \quad \{D\} = \begin{Bmatrix} R \\ \Delta \end{Bmatrix}; \end{aligned} \quad (1)$$

где $[B]$ – матрица коэффициентов системы уравнений смешанного метода (матрица откликов); $\{X\}$ – вектор неизвестных; $\{D\}$ – вектор грузовых коэффициентов.

а

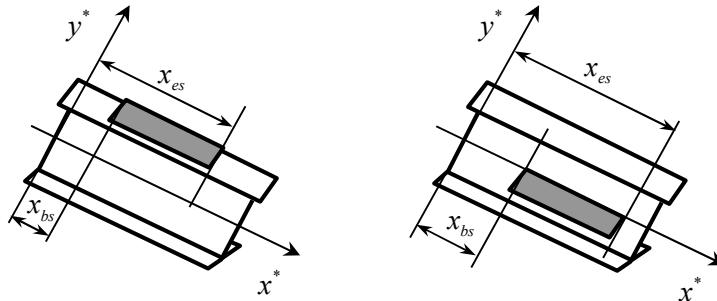


Рис. 1. Схема расположения элементов усиления

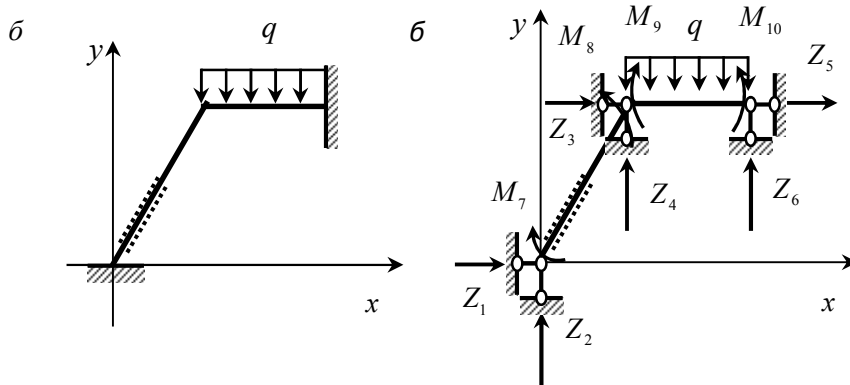


Рис. 2. Заданная система (а) и основная система смешанного метода (б)

Для формирования системы уравнений (1) необходимо вычислить для каждого КЭ матрицы

откликов в местной системе координат $[B_i^*]$ и вектор грузовых коэффициентов $\{D_i^*\}$:

$$[B_i^*] = \begin{bmatrix} r_{11} & 0 & r_{13} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{r}_{25} & \dot{r}_{26} \\ r_{31} & 0 & r_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{r}_{45} & \dot{r}_{46} \\ 0 & \dot{\delta}_{52} & 0 & \dot{\delta}_{54} & \delta_{55} & \delta_{55} \\ 0 & \dot{\delta}_{62} & 0 & \dot{\delta}_{64} & \delta_{65} & \delta_{66} \end{bmatrix}; \quad \{D_i^*\} = \begin{bmatrix} R_{x,H} \\ R_{y,H} \\ R_{x,K} \\ R_{y,K} \\ \Delta_H \\ \Delta_K \end{bmatrix}; \quad (2)$$

где элементы матрицы $[B_i^*]$ и вектора $\{D_i^*\}$ вычисляются по формулам:

$$r_{11} = r_{33} = \frac{1}{\int_0^\ell \frac{dx}{EA(x)}}; \quad r_{31} = r_{13} = -\frac{1}{\int_0^\ell \frac{dx}{EA(x)}}; \quad (3)$$

$$\dot{\delta}_{52} = \dot{\delta}_{64} = \frac{1}{\ell}; \quad \dot{\delta}_{54} = \dot{\delta}_{62} = -\frac{1}{\ell}; \quad \dot{r}_{25} = \dot{r}_{46} = -\frac{1}{\ell}; \quad \dot{r}_{26} = \dot{r}_{45} = \frac{1}{\ell}; \quad (4)$$

$$\delta_{55} = \int_0^\ell \frac{M_5^*(x)M_5^*(x)}{EJ(x)} dx, \quad \delta_{66} = \int_0^\ell \frac{M_6^*(x)M_6^*(x)}{EJ(x)} dx \quad (5)$$

$$\delta_{56} = \delta_{65} = \int_0^\ell \frac{M_5^*(x)M_6^*(x)}{EJ(x)} dx, \quad M_5^*(x) = 1 - \frac{x}{\ell}; \quad M_6^*(x) = \frac{x}{\ell}; \quad (6)$$

$$R_{xH} = F_{xH} - \frac{q_x \ell}{2}; R_{yH} = F_{yH} - \frac{q_y \ell}{2}; R_{xK} = F_{xK} - \frac{q_x \ell}{2}; R_{yK} = F_{yK} - \frac{q_y \ell}{2}; \quad (7)$$

$$\Delta_H = \int_0^\ell \frac{M_5^*(x)M_F(x)}{EJ(x)} dx; \quad \Delta_K = \int_0^\ell \frac{M_6^*(x)M_F(x)}{EJ(x)} dx; \quad M_F(x) = \frac{qx}{2}(\ell - x); \quad (8)$$

$$q = q_x \sin \alpha - q_y \cos \alpha. \quad (9)$$

В формулах (3) – (9) обозначено: q_x, q_y – равномерно распределённые нагрузки, приложенные к КЭ; $A(x), J(x)$ – площадь и осевой момент инерции в сечении с координатой x соответственно; обозначения остальных величин,

входящих в формулы, приведены на рис. 3. В (3) – (8) все интегралы вычисляются численно по способу прямоугольников.

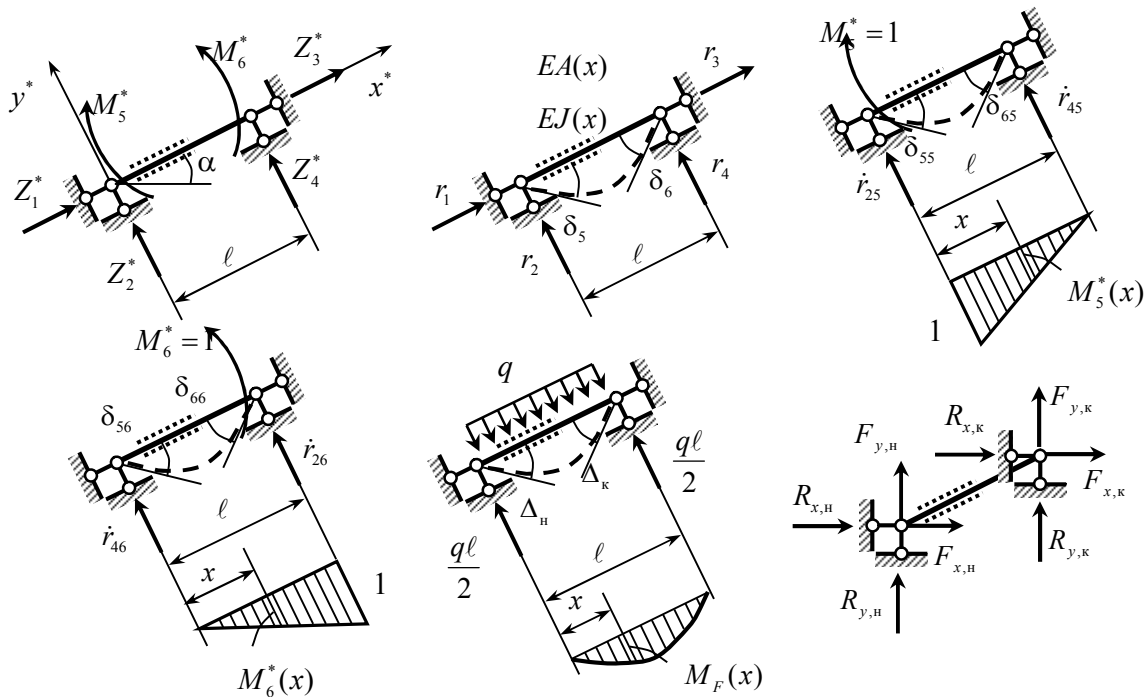


Рис. 3. Схемы для формирования матрицы откликов и вектора грузовых коэффициентов

Перед формированием системы уравнений смешанного метода матрица откликов КЭ переводится из местной системы координат в общую с помощью матрицы направляющих косинусов

$[C_i]$ и рассылается в общую матрицу откликов $[B]$ в уравнениях (1):

$$[C_i] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$[B_i] = [C_i] \times [B_i^*] \times [C_i]^T =$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} \cos^2 \alpha & r_{11} \cos \alpha \sin \alpha & r_{13} \cos^2 \alpha & r_{13} \cos \alpha \sin \alpha & -\dot{r}_{25} \sin \alpha & -\dot{r}_{26} \sin \alpha \\ r_{11} \cos \alpha \sin \alpha & r_{11} \sin^2 \alpha & r_{13} \sin \alpha \cos \alpha & r_{13} \sin^2 \alpha & \dot{r}_{25} \cos \alpha & \dot{r}_{26} \cos \alpha \\ r_{31} \cos^2 \alpha & r_{31} \cos \alpha \sin \alpha & r_{33} \cos^2 \alpha & r_{33} \sin \alpha \cos \alpha & -\dot{r}_{45} \sin \alpha & -\dot{r}_{46} \sin \alpha \\ r_{31} \cos \alpha \sin \alpha & r_{31} \sin^2 \alpha & r_{33} \sin \alpha \cos \alpha & r_{33} \sin^2 \alpha & \dot{r}_{45} \cos \alpha & \dot{r}_{46} \cos \alpha \\ -\dot{\delta}_{52} \sin \alpha & \dot{\delta}_{52} \cos \alpha & -\dot{\delta}_{54} \sin \alpha & \dot{\delta}_{54} \cos \alpha & \delta_{55} & \delta_{56} \\ -\dot{\delta}_{62} \sin \alpha & \dot{\delta}_{62} \cos \alpha & -\dot{\delta}_{64} \sin \alpha & \dot{\delta}_{62} \cos \alpha & \delta_{65} & \delta_{66} \end{bmatrix}.$$

Полученная в результате система уравнений должна быть скорректирована с учётом имеющихся в конструкции опорных связей и условий примыкания КЭ к узлам [16, 17].

В отличие от варианта МКЭ в форме метода перемещений [18], применяемого в программных комплексах [11, 12] для расчёта конструкций, при решении поставленной задачи используется только один тип КЭ [13], позволяющий в рамках предложенного подхода варьировать формой поперечного сечения основной конструкции, количеством и видом элементов усиления и т. д.

Основная часть. При апробации предложенного КЭ смешанного метода, предназначенного для расчёта усиления плоских стальных рам, был рассчитан пример, рассмотренный в [9, 10]. Стропильная конструкция покрытия представляет собой балку из прокатного двутавра с участками усиления полок листовыми накладками. Балка на участках наибольшей жёсткости

опирается на подкосы с образованием консолей, концы которых объединены с верхними сечениями надколонников. Нижние концы подкосов и надколонников соединены в узлах опирания конструкции покрытия на колонны и связаны между собой затяжкой (рис. 4).

Верхний пояс конструкции выполнен из прокатного профиля (двутавра) №35 Ш 1 по СТО АСЧМ 20-93. Надколонники – из прокатного двутавра 30 Б 1 того же сортамента. Подкосы и затяжка выполнены из трубы 140×12 мм и 121×10 мм соответственно. Листы усиления имеют размеры 2350×1195×10 мм. Все узлы сопряжения элементов между собой, кроме конькового и узла примыкания подкосов к балке – шарнирные (рис. 5). В расчётах ширина листа усиления согласно [9, 10] принималась по всей длине одинаковой.

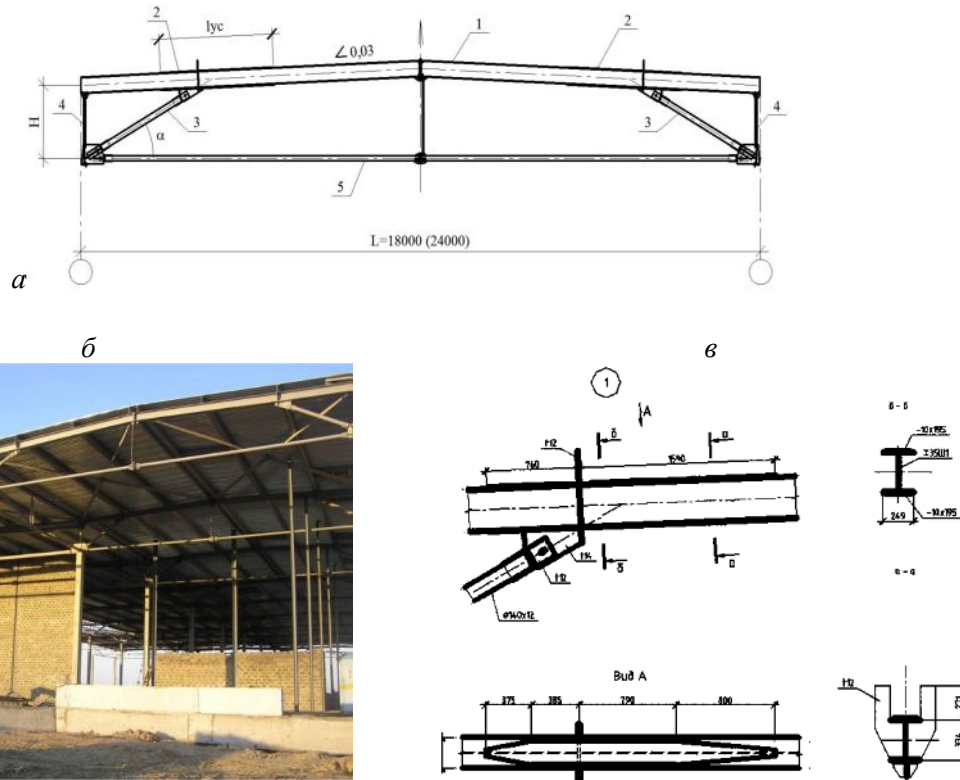


Рис. 4. Стальная балочная конструкция покрытия переменной жёсткости с подкосами и затяжкой [9, 10]; общий вид (а); фотография (б); узел усиления (в)

Расчёт конструкции покрытия также выполнялся в программном комплексе ЛИРА САПР (рис. 6). При создании расчётной модели по разработанной программе, прокатные профили были заменены составными двутаврами с размерами, указанными на рис. 7. Результаты расчёта в разработанной программе и в программном

комплексе ЛИРА САПР приведены на рис. 8. Величины прогибов конькового узла составили $v_{\text{лира}} = 89,29 \text{ мм}$, $v_{\text{МКЭ}} = 89,67 \text{ мм}$. Близость полученных результатов свидетельствует о корректном решении поставленной задачи.

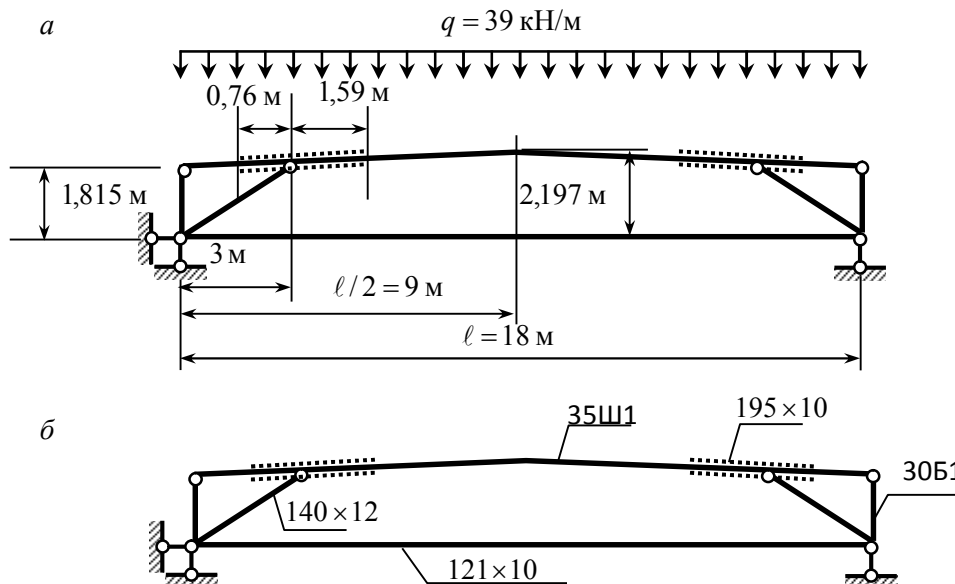


Рис. 5. Стальная балочная конструкция покрытия переменной жёсткости с подкосами и затяжкой; расчётная схема (а); поперечные сечения элементов (б)

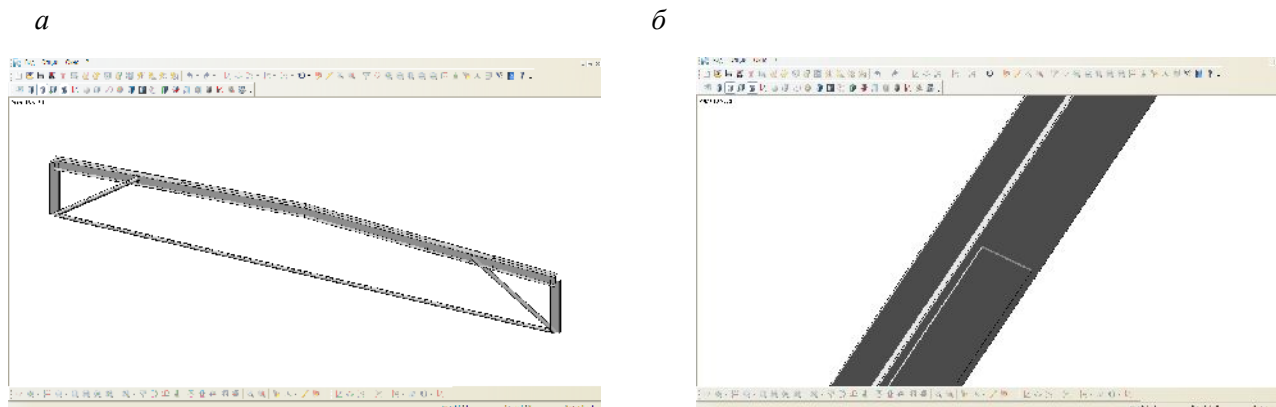


Рис. 6. КЭ модель конструкции покрытия для расчёта в ПК ЛИРА САПР; общий вид (а); усиление пояса, фрагмент (б)

При конструировании узла усиления с целью уменьшения концентрации напряжений накладка выполнялась переменной ширины. Усложним задачу расчёта, принимая размеры усиливающего листа согласно рис. 4, в. В этом случае при вычислении геометрических характеристик усиленного сечения, входящих в формулы (3) – (8), учитывалась фактическая ширина накладки, что привело к следующим результатам. Изгибающий момент в коньковом узле составил 205,24 кНм в узле усиления – 340,33 кНм

прогиб $v_{\text{МКЭ}} = 90,19 \text{ мм}$. Изменение расчётных величин в сравнении с расчётом при накладке постоянной ширины составило от 0,66 % до 1,02 %

Таким образом, предложенный алгоритм смешанного метода позволяет рассчитывать конструкции с элементами усиления переменной ширины, что отвечает требованиям практики проектирования стальных конструкций.

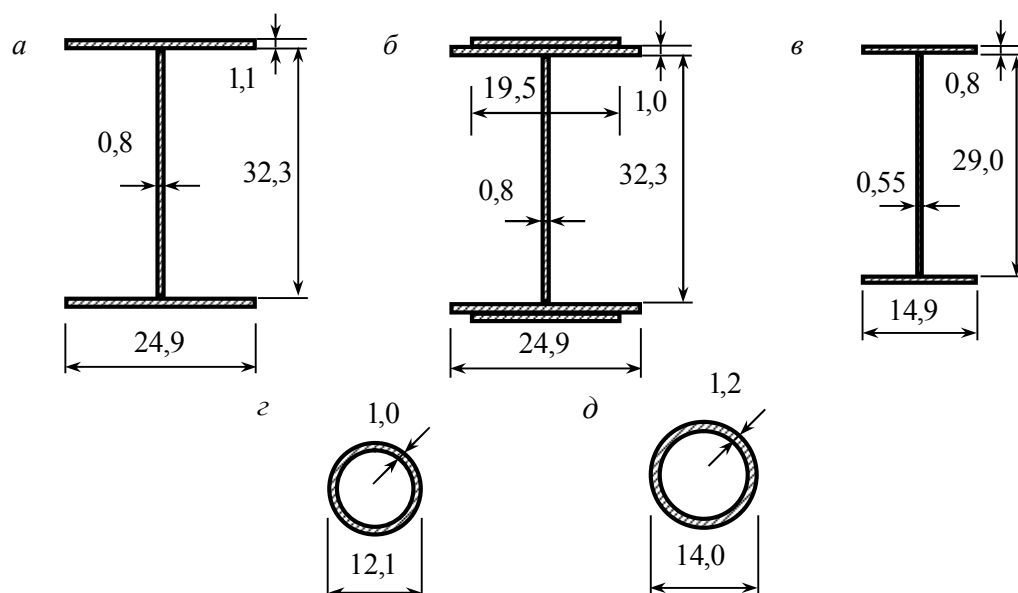


Рис. 7. Поперечные сечения элементов конструкции покрытия (все размеры указаны в см); верхняя балка (а); верхняя балка с усилением полок (б); надколонник (в); затяжка (г); подкос (д)

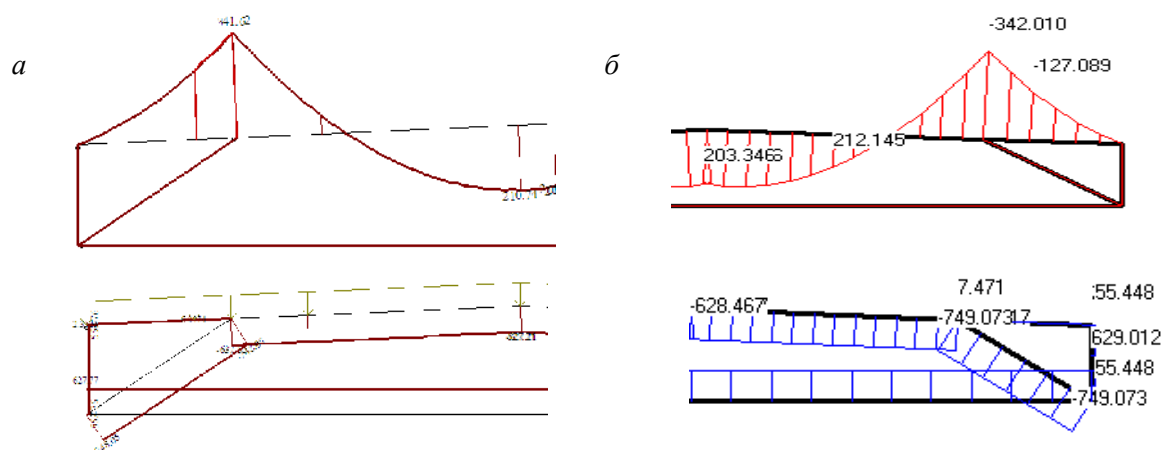


Рис. 8. Результаты расчёта в ПК ЛИРА САПР (а); по разработанной программе (б)

Вывод. Сравнение двух подходов к решению задачи с использованием программного комплекса ЛИРА САПР и по предложенному алгоритму, показывает, что:

– при изменении размеров и места положения усиливающего элемента в программных комплексах расчётную схему требуется каждый раз создавать заново, используя для этого стержневые и пластинчатые КЭ модели;

– разработанный КЭ позволяет изменять размеры и количество усиливающих элементов, не меняя при этом схему разбиения на узлы и КЭ; изменению подлежат координаты расположения усиливающих листов и их размеры.

Таким образом, предложенный КЭ для расчёта усиления стальных рам, по сравнению с используемыми в инженерной практике программными комплексами, является более эффективным.

Источник финансирования. Государственное задание Министерства образования и науки РФ (номер проекта 7.8899.2017/8.9).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ребров И.С. Усиление стержневых металлических конструкций: проектирование и расчёт. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1988. 288 с.
2. Рекомендации по усилению и ремонту строительных конструкций инженерных сооружений. М.: ЦНИИпромзданий. 178 с.
3. Serazutdinov M.N., Ubaydulloyev M.N. Method of Calculation of Strengthening of the Loaded Rod Structures Taking into Account Plastic Deformations // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 1741–1747.
4. Алдушкин Р.В. Развитие и совершенствование рациональных методов усиления и ре-

гулирования усилий в металлических конструкциях балочного типа и фермах: автореф. дис. канд. техн. наук. Орёл, 2008. 20 с.

5. Пелешко И.Д., Блихарский З.Я., Балук И.М. Формирование расчётных схем и определение напряжённо-деформированного состояния стержневых металлических конструкций в процессе реконструкции и усиления // Металлические конструкции. 2013. Т. 19. № 1. С. 37–47.

6. Алексейцев А.В. Оптимальный структурно-параметрический синтез систем усиления металлических ферм // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 2 (2). С. 37–46.

7. Ляхович Л.С., Тухфатуллин Б.А., Путеева Л.Е., Григорьев А.И. Использование методов оптимизации в задачах усиления конструкции // Вестник ТГАСУ. 2015. № 6 (53). С. 57–70.

8. Картопольцев В.М., Картопольцев А.В. Разработка перспективных (гибридных) конструкций пролётных строений мостов из сталей различной прочности // Вестник ТГАСУ. 2017. № 3. С. 171–182.

9. Пронозин Я.А., Корсун Н.Д. Экспериментально-теоретические исследования работы стальной балочной конструкции покрытия переменной жёсткости с подкосами и затяжкой // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. 3 с.

10. Корсун Н.Д. Экспериментально-теоретические исследования стальной балочной конструкции переменной жёсткости с подкосами и затяжкой: дис. ...канд. техн. наук. Тюмень, 2014. 220 с.

11. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Фиалко С.Ю. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++. М.: «СКАД СОФТ», 2015. 848 с.

12. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Титок В.П., Артамонова А.Е.; под ред. Городецкого

А.С. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013: учебное пособие. К.-М.: Электронное издание, 2013. 376 с.

13. Раков В.Д., Григорьев А.И., Тухфатуллин Б.А., Путеева Л.Е. Разработка и апробация конечного элемента смешанного метода для расчёта усиления стальных рам // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте. Сборник статей IV Всероссийской научно-технической конференции для молодых учёных и студентов с международным участием, 14–15 марта 2018 г. Пенза, Межотраслевой научно-информационный центр, 2018. С. 214–218.

14. Ignatyev A.V., Ignatyev V.A. On the efficiency of the finite element method in the form of the classical mixed method // Procedia Engineering, 2016. Vol. 150. Pp. 1760–1765.

15. Юдин Ю.Я. Энергетический метод в автоматизации инженерных расчётов. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1986. 256 с.

16. Клёнов Д.А., Путеева Л.Е., Тухфатуллин Б.А. Программная реализация МКЭ для расчёта плоских стержневых систем в форме смешанного метода. Сообщение 1 // Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный ресурс]: сборник трудов XII Междун. Конференция студентов и молодых ученых (21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. С. 1329–1331.

17. Марина Н.И., Тухфатуллин Б.А., Путеева Л.Е. Конечный элемент сжато-изгибаемого стержня переменного сечения при расчёте смешанным методом // Избранные доклады 63-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых [Электрон. текстовые дан.]. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. С. 57–65.

18. Трушин С.И. Строительная механика. Метод конечных элементов: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. 305 с.

Информация об авторах

Тухфатуллин Борис Ахатович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики. E-mail: bat9203@gmail.com. Томский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 634003, Томск, пл. Соляная, д. 2.

Путеева Лариса Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики. E-mail: ple@sibmail.com. Томский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 634003, Томск, пл. Соляная, д. 2.

Григорьев Антон Игоревич, аспирант. E-mail: mag917@mail.ru. Томский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 634003, Томск, пл. Соляная, д. 2.

Раков Валерий Дмитриевич, магистрант. E-mail: valerysstr@gmail.com. Томский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 634003, Томск, пл. Соляная, д. 2.

Поступила в август 2018 г.

© Тухфатуллин Б.А., Путеева Л.Е., Григорьев А.И., Раков В.Д., 2018

^{1,*}*Tukhfatullin B.A., ¹Puteeva L.E., ¹Grigoriev A.I., ¹Rakov V.D.*

¹*Tomsk State University of Architecture and Building
Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq., 2*

**E-mail: bat9203@gmail.com*

APPLICATION OF A SPECIAL FINITE ELEMENT OF A MIXED METHOD FOR CALCULATION OF STEEL STRIPE SYSTEM STRENGTHENING

Abstract. *The article deals with the application of the previously developed special finite element of the mixed method designed to determine the internal forces and displacements in coplanate rod systems. The systems to be calculated consist of I-beam cross-section rods, having one to three reinforcements. Steel plates with specified cross-section dimensions and known coordinates of its collocation straighten the shelves and wall. The solution of the issue is carried out by the finite element of a mixed method, which derives the formulas to calculate the response matrix and the vector of freight coefficients. A numerical procedure is used to calculate the integrals. The flat steel truss system consisting of the main beam of I-beam section, pillar sections, struts and straining beam is calculated. To strengthen the main beam, steel plates are used: they are located on the upper and lower shelves in the place the beam leans the strut. The results of the calculation according to the proposed algorithm were compared with the results obtained in the LIRA SAPR software complex. The advantage of the approach proposed in the article to solve the problems of amplification is shown.*

Keywords: *special finite element, mixed method, reinforcement by section extension, response matrix.*

REFERENCES

1. Rebrov I.S. Strengthening of the rod metal structures: design and calculation. L.: Stroiizdat, Leningrad Branch, 1988, 288 p.
2. Recommendations on strengthening and repair of building structures of engineering structures. Moscow: TsNIIpromzdaniy, 178 p.
3. Serazutdinov M.N., Ubaydulloyev M.N. Method of Calculation of Strengthening of the Loaded Rod Structures Taking into Account Plastic Deformations. Procedia Engineering, 2016, vol. 150, pp. 1741–1747. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.164
4. Aldushkin R.V. Development and improvement of rational methods of strengthening and regulating efforts in metal constructions of beam type and farms: author's abstract. dis. Cand. tech. sciences. Orel, 2008. 20 p.
5. Peleshko I.D., Blikharsky Z.Ya., Baluk I.M. Formation of calculation schemes and determination of the stress-strain state of the rod metal structures in the process of reconstruction and strengthening. Metallic structures, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 37–47.
6. Alexeytsev A.V. Optimal structural-parametric synthesis of reinforcement systems for metal trusses. Construction mechanics of engineering structures and structures, 2014, no. 2 (2), pp. 37–46.
7. Lyakhovich L.S., Tukhfatullin B.A., Puteeva L.E., Grigoriev A.I. The use of optimization methods in problems of strengthening the construction. Bulletin of TGASU, 2015, no. 6 (53), pp. 57–70.
8. Kartopoltsev V.M., Kartopoltsev A.V. Development of perspective (hybrid) structures of spans of bridges from steels of various strength. Bulletin of TGASU, 2017, no. 3, pp. 171–182.
9. Pronosin Y.A., Korsun N.D. Experimental-theoretical studies of the steel beam construction of variable hardness coating with struts and puffing. Modern problems of science and education, 2014, no. 3, 3 p.
10. Korsun N.D. Experimental-theoretical studies of a steel beam structure of variable rigidity with struts and puffing: dis. ... cand. tech. sciences. Tyumen, 2014, 220 p.
11. Karpilovsky V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Perelmutter A.V., Perelmutter M.A., Fialko S.Yu. SCAD Office. Version 21. Computing complex SCAD ++. M.: «SCAD SOFT», 2015, 848 p.
12. Gorodetsky D.A., Barabash M.S., Titok V.P., Artamonova A.E.; Ed. Gorodetsky A.S. The program complex LIRA-SAPR 2013: a study guide. K.-M.: Electronic publication, 2013, 376 p.
13. Rakov V.D., Grigoriev A.I., Tukhfatullin B.A., Puteeva L.E. Development and approbation of the finite element of the mixed method for calculating the reinforcement of steel frames // Innovations of technical solutions in engineering and transport. Collection of articles of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference for Young Scientists and Students with International Participation, March 14-15, 2018 Penza, Interdisciplinary Scientific Information Center, 2018, pp. 214–218.
14. Ignatyev A.V., Ignatyev V.A. On the efficiency of the finite element method in the form of the classical mixed method. Procedia Engineering, 2016, vol. 150, pp. 1760–1765. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.167
15. Yudin Yu.Ya. Energy method in automation of engineering calculations. Tomsk: Publishing house Tom. University, 1986, 256 p.

16. Klyonov D.A., Puteeva L.E., Tukhfatullin B.A. Software implementation of FEM for the calculation of flat rod systems in the form of a mixed method. Communication 1. Prospects for the development of fundamental sciences [Electronic resource]: Proceedings XII Int. Conference of students and young scientists (April 21-24, 2015). Tomsk Polytechnic University. Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2015, pp. 1329–1331.

17. Marina N.I., Tukhfatullin B.A., Puteeva L.E. Finite Element of a Compressed-Flexible Rod of Variable Section when Calculating by a Mixed Method. Selected Reports of the 63rd University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists. [Electron. text data.]. Tomsk: Publishing house Tom. state. architect-builds. Univ., 2017, pp. 57–65.

18. Trushin S.I. Structural mechanics. The finite element method: a tutorial. M.: SIC INFRA-M, 2016, 305 p.

Information about the author

Tukhfatullin, Boris A. PhD, Assistant professor. E-mail: bat9203@gmail.com. Tomsk State University of Architecture and Building. Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq., 2.

Puteeva, Larisa E. PhD, Assistant professor. E-mail: ple@sibmail.com. Tomsk State University of Architecture and Building. Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq., 2.

Grigoriev, Anton I. Postgraduate student. E-mail: mag917@mail.ru. Tomsk State University of Architecture and Building. Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq., 2.

Rakov, Valery D. Master student. E-mail: valerysstr@gmail.com. Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq., 2.

Received in August, 2018

Для цитирования:

Тухфатуллин Б.А., Путеева Л.Е., Григорьев А.И., Раков В.Д. Применение специального конечного элемента смешанного метода для расчёта усиления стальной стропильной системы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 43–51. DOI: 10.12737/article_5bd95a73a46853.19300139

For citation:

Tukhfatullin B.A., Puteeva L.E., Grigoriev A.I., Rakov V.D. Application of a special finite element of a mixed method for calculation of steel stripe system strengthening. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 43–51. DOI: 10.12737/article_5bd95a73a46853.19300139

DOI: 10.12737/article_5bd95a744377e9.98556143

^{1,*}Синельщиков А.В., ²Панасенко Н.Н.¹Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 414056, Астрахань, ул. Татищева, д. 18

²Астраханский государственный технический университет

Россия, 414056, Астрахань, ул. Татищева, д. 16

*E-mail: laex@bk.ru

ОБОСНОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С УЧЁТОМ ВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация. Предложена методика расчета на сейсмостойкость комплексной системы промышленного здания со встроенным технологическим оборудованием и грузоподъемными кранами совместно с грунтовым основанием. Промышленный объект рассматривается с позиций системного подхода как первично-вторичная система. В отличие от традиционного подхода моделирования сейсмического воздействия в виде акселерограммы (записи ускорения на поверхности грунта), в работе предлагается использовать волновую модель сейсмического воздействия в виде перемещений (сейсмограммы) границ грунтового основания, включенного в состав расчетно-динамической модели, с учетом задержки прихода объемной сейсмической волны. Грунтовое основание рассматривается как первичная система, воспринимающая сейсмическое воздействие, и передающая его на здания и технологическое оборудование. Расчетная сейсмограмма получена с учетом действительных грунтовых условий и сейсмологических характеристик на строительной площадке. Предлагаемый подход позволяет подвергать исследованию всех подсистем комплекса зданий, с учётом их взаимовлияния друг на друга. Без дополнительных упрощений возможен учёт вращательных компонент реакции зданий при прохождении сейсмической волны, а также расчётный анализ сейсмической безопасности по режиму столкновений и возможных соударений стен отдельных блоков и корпусов.

Ключевые слова: метод динамического анализа, линейно-спектральный метод, сейсмическое воздействие, метод конечных элементов, сейсмостойкость зданий и сооружений, волновые свойства сейсмического воздействия

Введение. Непредсказуемость землетрясений как по времени возникновения, так и по интенсивности, привело к созданию дорогостоящих и материалоемких сооружений. Особые требования сейсмической безопасности предъявляются к объектам с повышенной экономической и социальной ответственностью, к числу которых относятся как непосредственно здания, так и технологическое оборудование, и машины, размещённые в зданиях и обеспечивающие работу с опасными грузами и веществами.

В настоящее время в расчетной практике в равной степени используются два метода обоснования сейсмостойкости – статический и динамический. Очевидно, что в силу специфики сейсмического воздействия (СВ) как временного процесса наиболее корректным является использование динамической теории сейсмостойкости (или метода динамического анализа (МДА)). Однако в настоящее время использование динамических методов обоснования сейсмостойкости является обязательным только для сооружений с повышенной ответственностью, например, объектов использования атомной энергии [1, 2]. В свою очередь для гражданских сооружений и общепромышленных предприятий используется СП 14.13330 [3] и линейно-спектральный метод

(ЛСМ) теории сейсмостойкости, который несмотря на учёт динамических характеристик СВ и сооружения, по сути, является статическим методом. Недостатки ЛСМ неоднократно критиковались как на уровне самого метода, так и модели СВ в виде сейсмических спектров ответа (ССО) [4–6].

Методология. Одно из главных отличий динамического расчёта сооружений с учётом ускорений движения их распределённых и сосредоточенных масс от статического заключается в учете инерционной нагрузки, зависящей от интенсивности СВ, а также реакция сооружения в виде перемещений, скоростей и ускорений как временной процесс при прохождении землетрясения. Формулировка МДА применительно к задаче обоснования сейсмостойкости инженерных сооружений и установленного в них технологического оборудования в общем виде записывается как матричное дифференциальное нелинейное уравнение движения в n степенях свободы [4–6]:

$$[M]\{\ddot{V}\} + [C]\{\dot{V}\} + [K]\{V\} + \{R(V)\} = P \quad (1)$$

где $\{V\}$, $\{\dot{V}\}$, $\{\ddot{V}\}$ – вектора обобщённых перемещений, скоростей и ускорений системы, соответственно; $[M]$, $[K]$ и $[C]$ – матрицы масс, жёсткости и диссипации, соответственно, полной системы

порядка $n \times n$; $\{R(V)\}$ – вектор сил, обусловленный нелинейными характеристиками системы; $\{P\} = \{P_{ст}\} + \{P_{дин}(t)\}$ – вектор, содержащий внешние статические и динамические нагрузки на систему. Традиционным методом аппроксимации сооружений и технологического оборудования является метод конечных элементов с использованием стержневых, пластинчатых (оболочечных) и объемных конечных элементов (КЭ) [4–6].

Для практических расчётов уравнение (1), как правило, упрощается. В расчётах не учитываются отдельные, и иногда очень существенные, нелинейные характеристики системы, например, такие как включающиеся связи (зазоры), сухое трение и др., т.е. $\{R(V)\} \neq 0$. Матрицы $[M]$, $[K]$ и $[C]$ считаются константами на протяжении всего сейсмического воздействия и, таким образом, не учитывают, например, односторонние упругие связи или пластические деформации в материале конструкций. Более того, до настоящего времени дискуссионным является учёт диссипативных характеристик системы $[C]$. Конкурирующими являются гипотезы определения параметров рассеивания энергии колебаний – гипотеза Фойгта, гистерезисная теория затухания Е. С. Сорокина, соотношение Релея, матрица затухания с частотно-независимым внутренним трением А. И. Цейтлина, матрица затухания В.Т. Рассказовского и А.И. Мартеньянова, и др. Обзор и сравнительный анализ диссипативных моделей приведен в [5, 6].

Исключительно важным представляется вопрос моделирования входного СВ, определяющего динамическую составляющую воздействия $\{P_{дин}(t)\}$ в (1). Традиционно, входное сейсмическое воздействие в МДА моделируется записью ускорений движения точки поверхности земли на строительной площадке – трехкомпонентной (x, y, z) акселерограммой землетрясения. Сложность заключается в том, что заранее неизвестно, какими динамическими и частотными характеристиками будет обладать СВ. Это привело к созданию обобщенных моделей СВ как в виде обобщенных ССО (например, в [3, 7]) и синтезированных акселерограмм [8, 9], так и построенных с использованием теории вероятности и математической статистики [10]. Для машин и технологического оборудования проектировщику также приходится вычислять поэтажные ССО и поэтажные акселерограммы, соответствующие уровню установки оборудования, так как здание выступает в роли фильтра, преобразующего входное СВ в зависимости от собственных жестких, массовых и диссипативных характеристик. Первичной информацией о землетрясении

(и воздействием) являются оцифровки ускорений, скоростей и перемещений точки поверхности земли. Все вторичные модели СВ (поэтажные модели СВ и ССО) являются расчетными и зависят от качества построенных расчетных схем, использованных методов обработки исходного воздействия и квалификации расчетчика. Кроме этого, вторичные модели СВ зачастую огрубляются, так для ССО используется частотный диапазон до 30–50 Гц.

Во всех указанных моделях входного воздействия, СВ имеет смысл инерционной нагрузки и считается одинаковой (для СВ в виде ускорения) в каждый момент времени для всех точек здания и технологического оборудования. В тоже время СВ является волной, распространяющейся с ограниченной скоростью в грунте. Для протяженных сооружений, сейсмическая волна, многократно отражаясь и преломляясь, искажаясь на границе грунтовых слоев, взаимодействуя с фундаментным основанием в один и тот же момент времени оказывает различное воздействие вдоль фундамента здания. В настоящей работе рассматриваются вопросы обоснования сейсмостойкости зданий и установленного в нем технологического оборудования с учётом волновых свойств СВ, распространяющегося в грунтовом основании вдоль здания. Наиболее существенным оказывается влияние волновых свойств СВ для протяженных зданий, длина которых соизмерима с длиной сейсмической волны.

В отличие от обычных инженерных сооружений протяжённые здания помимо поступательного движения получают и вращательное и при прохождении землетрясения возможен их изгиб [11], что, как правило, не учитывается при проектировании. Кроме этого, вращательные компоненты воздействия не учитываются при проектировании технологического оборудования здания. В связи с этим динамический анализ должен производиться с позиций системного подхода, с учётом всех факторов, влияющих на сейсмостойкость.

При системном подходе сооружение рассматривается как множество взаимосвязанных первично-вторичных строительных и технологических объектов разной природы, обусловленных самим сооружением и множеством существующих внутри первичного объекта – вторичных объектов, а также внешней средой (грунтовым основанием), оказывающих воздействие на первичную систему здания. Таким образом, с точки зрения обоснования сейсмостойкости сооружение необходимо рассматривать как набор объектов, объединённых в единую структуру связями отражающих их взаимодействие. В общем случае реальное сооружение, как система, –

это грунтовое основание, промышленное здание, в котором расположены машины и технологическое оборудование (рис. 1).

Первичной системой, воспринимающей СВ, является грунтовое основание. Вторичной системой, воспринимающей воздействие от первичной – промышленное здание и находящееся в нем технологическое оборудование. В рамках системного подхода каждую из указанных подсистем можно разбить на свои подсистемы. Оче-

видно, что СВ заданное акселерограммой, не удовлетворяет условию передачи воздействия от одной подсистемы к другой с учётом искажения при прохождении воздействия через каждую подсистему. В этом случае в расчётно-динамическую модель (РДМ) сооружения должны быть включены, помимо самого здания и находящегося в нем технологического оборудования, фундамент, свайное поле (при наличии) и грунтовое основание как среда распространения сейсмической волны (рис. 2).

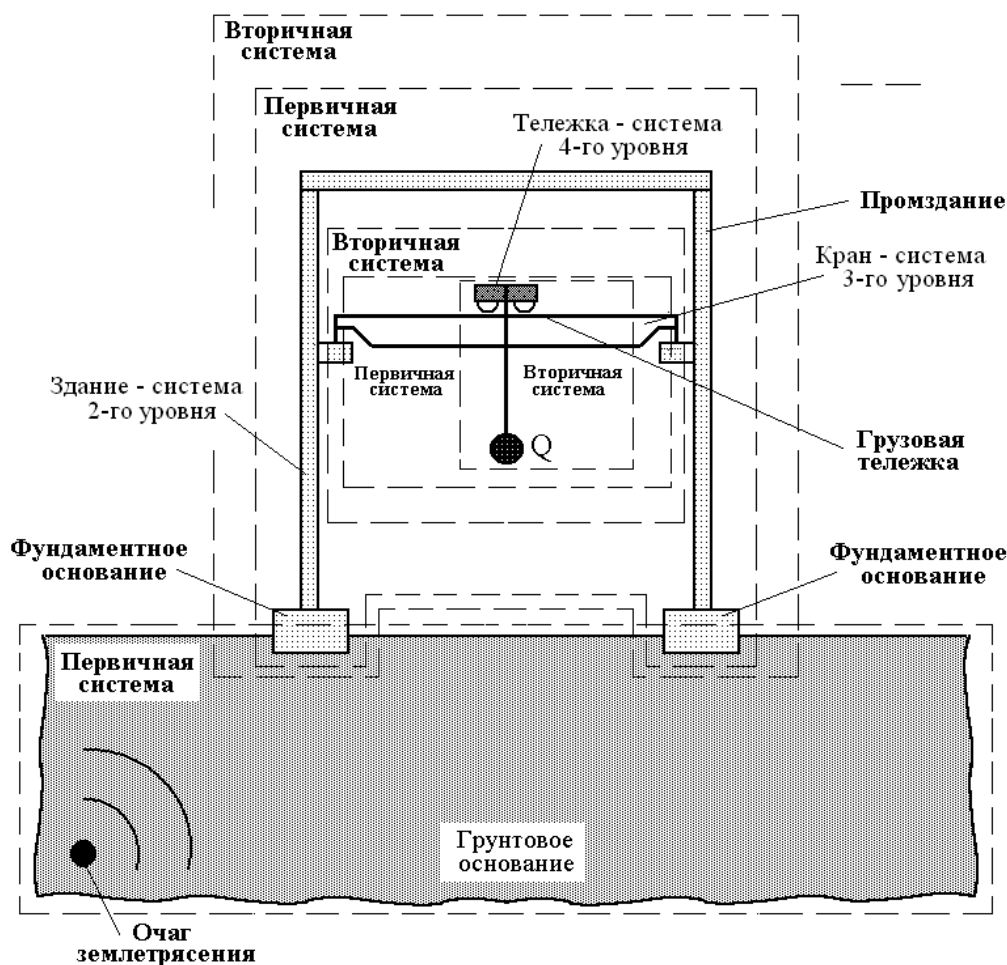


Рис. 1. Первично-вторичная система сооружения

По сравнению с акселерограммой, волновая модель СВ является более общей и учитывает конкретные сейсмические условия на строительной площадке. Кроме этого, в отличие от инерционного воздействия, определяемого акселерограммой, волновая модель позволяет учитывать задержку прихода воздействия по направлению распространения сейсмической волны как в грунте, так и в сооружении.

Исходными данными для использования волновой модели СВ является сведения об очаге землетрясения, его удаленность от строительной площадки и грунтовые условия геологического разреза. Использование математической модели распространения сейсмической волны позволяет

строить как максимально возможное (по магнитуде), так и наиболее вероятное сейсмическое воздействие на здания и сооружения.

Несмотря на исходный волновой характер СВ, как волновой процесс землетрясение рассматривается исключительно в сейсмологии. Практика применения волновых моделей при расчете инженерных сооружений отсутствует. Как правило, построение волновой модели СВ осуществляется на основе результатов сейсмомикрорайонирования строительной площадки с использованием двух моделей – модели сейсмического источника землетрясения и модели сейсмического эффекта, основанного на повторяемости землетрясений в рассматриваемом

регионе, определяющих пространственное и временное распределение сейсмичности. Обзор математических моделей распространения сейсмических волн от эпицентра землетрясения к поверхности земли приведен в [6].

Результатом моделирования распространения сейсмических волн от эпицентра к поверхности земли являются сейсмограммы, велосиграны и акселерограммы движения точек земли

на поверхности и на любой заданной глубине. При этом волновое сейсмическое воздействие задается сейсмограммой – законом движения границы грунтового основания РДМ сооружения (рис. 3) с учётом скорости распространения сейсмической волны, зависящей от типа грунта (табл. 1) [12].

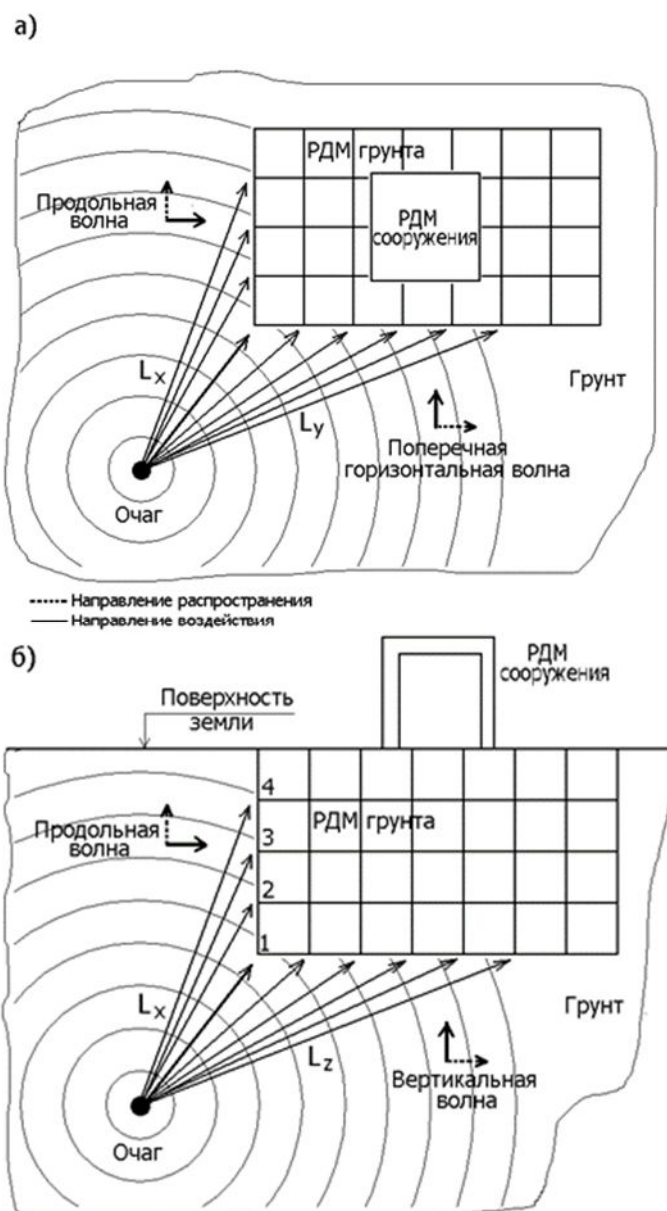


Рис. 2. Схема воздействия волнового СВ на РДМ сооружения: а – вид сверху; б – вид сбоку

Таблица 1

Скорость распространения поверхностных сейсмических волн

Тип грунтов	Скорость распространения поверхностных волн, м/с
Скальные	1000–3000
Полускальные	1000–1500
Крупнообломочные	800–1200
Песчаные и глинистые	400–800
Насыпные и почвенные	100–300
Обводненные	100–1000

Задержка прихода сейсмической волны к каждой граничной точке грунтового основания РДМ может быть вычислена в зависимости от скорости поверхностных сейсмических волн (продольных V_p и поперечных V_s). В работе [13] предлагается соотношения, определяющие зависимость скорости распространения сейсмических волн от характеристик грунта: плотности

грунта ρ , модуля всестороннего сжатия λ и модуля сдвига μ грунта

$$\begin{aligned} V_p &= \sqrt{(\lambda + 3\mu) / \rho} \\ V_s &= \sqrt{\mu / \rho}, \end{aligned} \quad (2)$$

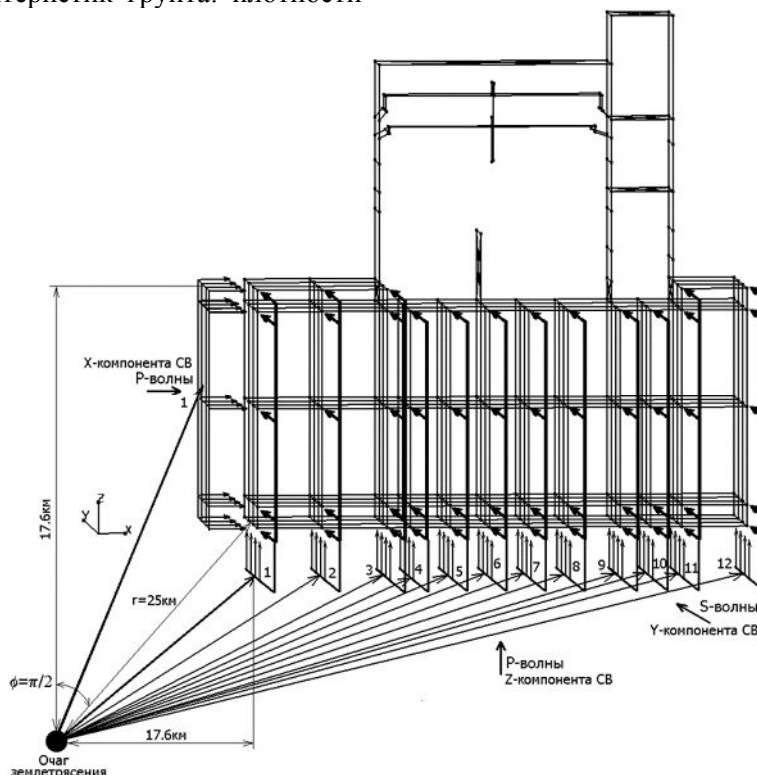


Рис. 3. Схема приложения волнового СВ в виде сейсмограммы на границы РДМ «грунт-здание-технологическое оборудование»

Основная часть. Предложенная методика использовалась авторами для анализа сейсмической безопасности комплекса промышленных зданий со встроенным технологическим оборудованием и грузоподъемными кранами. Первичная система грунта (рис. 4) состоит из пяти инженерно-геологических слоев (ИГС). РДМ грунтового основания площадки строительства представлена грунтовым массивом размером 490×490 метров с подошвой на отметке +240 м. РДМ грунтового основания площадки строительства состоит из 256552 объемных КЭ грунтового основания, в том числе 46179 - ИГС I, 9404 - ИГС II, 102223 - ИГС III, 49209 - ИГС IV, 49537 - ИГС V. Основной шаг конечно-элементной сетки 5×5 метров с ее сгущением в месте ростверков и свайного поля зданий в зависимости от шага свайного поля. Общее количество узлов 310393, количество степеней свободы $n=1\ 862\ 358$.

Промышленное здание располагается на свайном ростверке и показано отдельно от общей РДМ на рис. 5. В сборе, РДМ комплекса «грунт-

здание-технологическое оборудование» на свайном поле и грунтовом основании состоит из 456098 КЭ, в том числе 80865 стержневых КЭ, 106653 оболочечных КЭ, 268580 объемных КЭ. Общее количество узлов 414064, количество степеней свободы $n=2\ 484\ 384$ (рис. 6).

Внутри РДМ зданий, на соответствующих высотных отметках, размещено технологическое оборудование и грузоподъемные краны, один из которых показан на рис. 7.

Расчет сейсмического воздействия производился с помощью метода сейсмических жесткостей и вычислительной программы, рассчитывающей параметры колебаний поверхности грунтовой толщи, в частности, на основе линейных уравнений [14] методом передаточных функций по программе WinShake (модификация SHAKE 91 [15]). Моделированием реакции геологической среды на землетрясение определена реакция грунта на сейсмическое воздействие для уровня 7 баллов MSK-64 в виде акселерограмм, велосигрограмм и сейсмограмм. На рис. 8 приведены гра-

фики эффективной фазы 3-х компонентных сейсмограмм 7 баллов MSK-64 на отм. +240 м площадки строительства зданий.

Интегрирование уравнения движения (1) общей РДМ «грунт-здание-технологическое оборудование» (см. рис. 6) на волновое СВ заданное

сейсмограммой на границах грунтового основания (см. рис. 8) осуществлялось с использованием метода Гилбера-Хьюза-Тейлора [16], по результатам которого получена реакция узлов общей РДМ в виде перемещений, скоростей и ускорений (рис. 9).

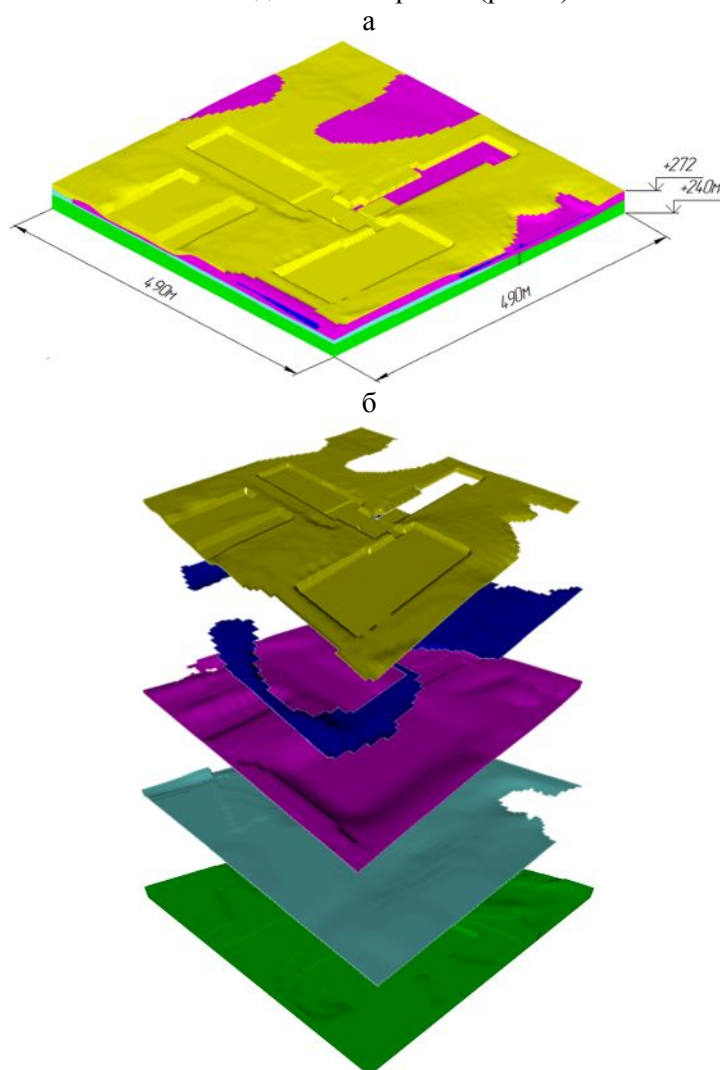


Рис. 4. РДМ грунтового основания как первичной системы РДМ «грунт-здание-технологическое оборудование»: а – общий вид РДМ; б - инженерно-геологические слои РДМ грунтового основания

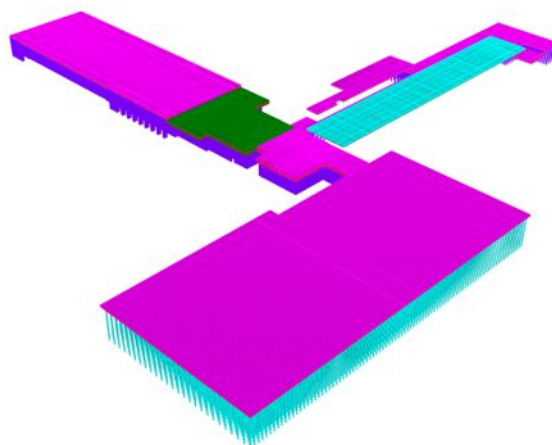


Рис. 5. РДМ ростверка и свайного поля РДМ «грунт-здание-технологическое оборудование», расположенного внутри грунтового основания

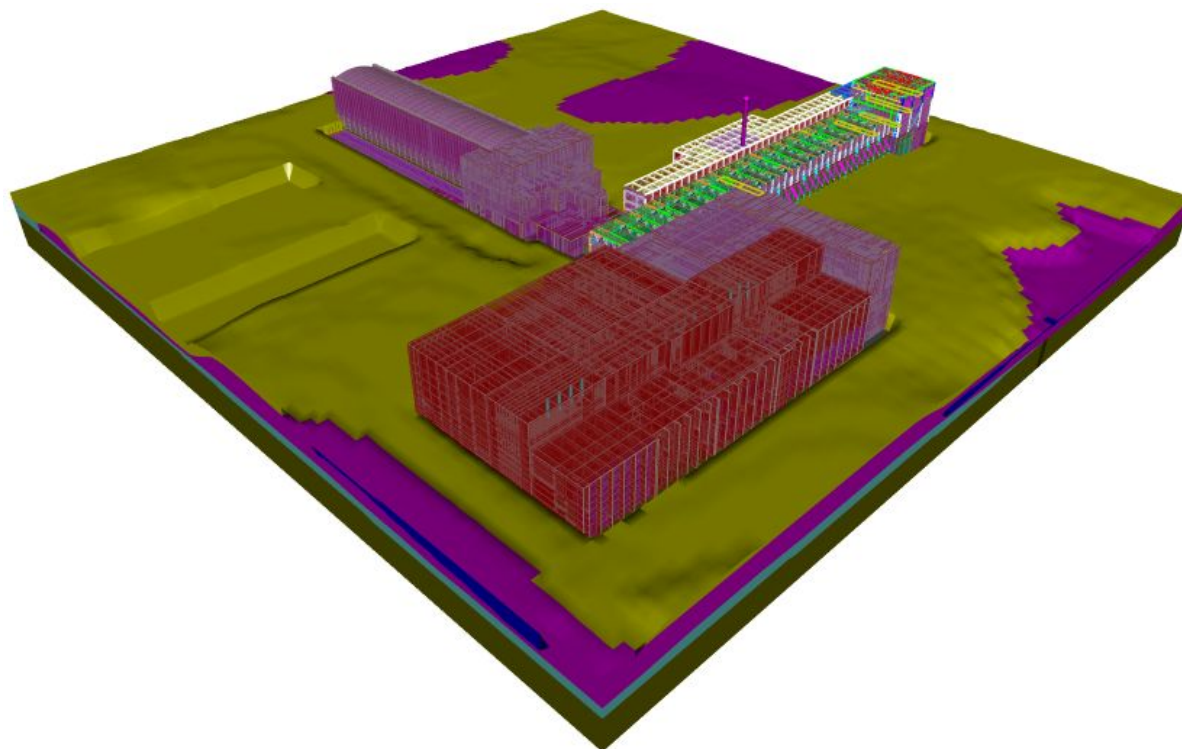


Рис. 6. РДМ «грунт-здание-технологическое оборудование»

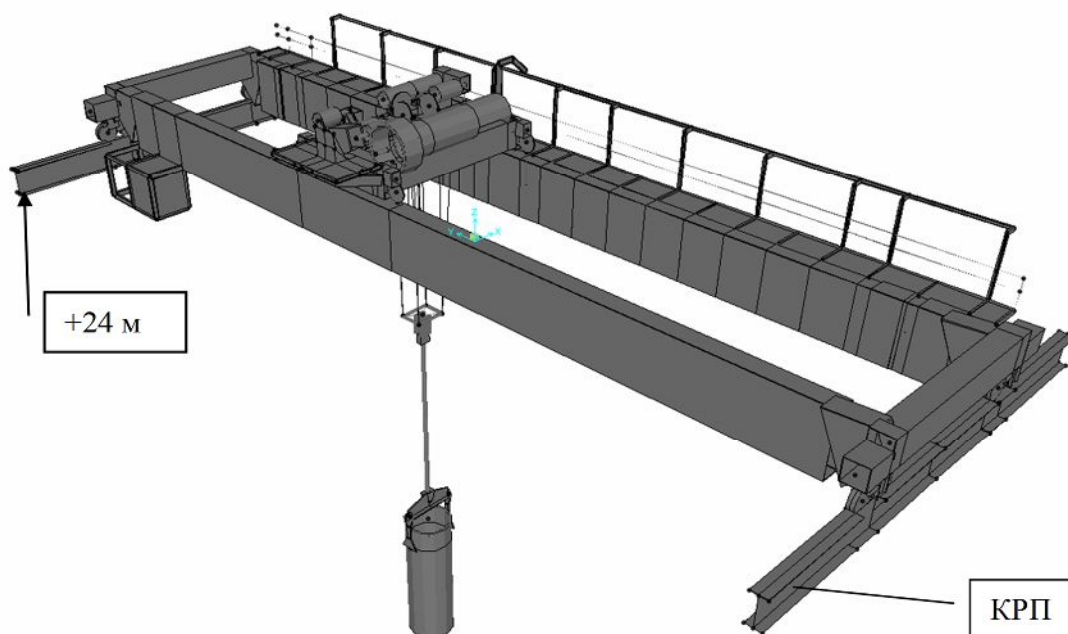
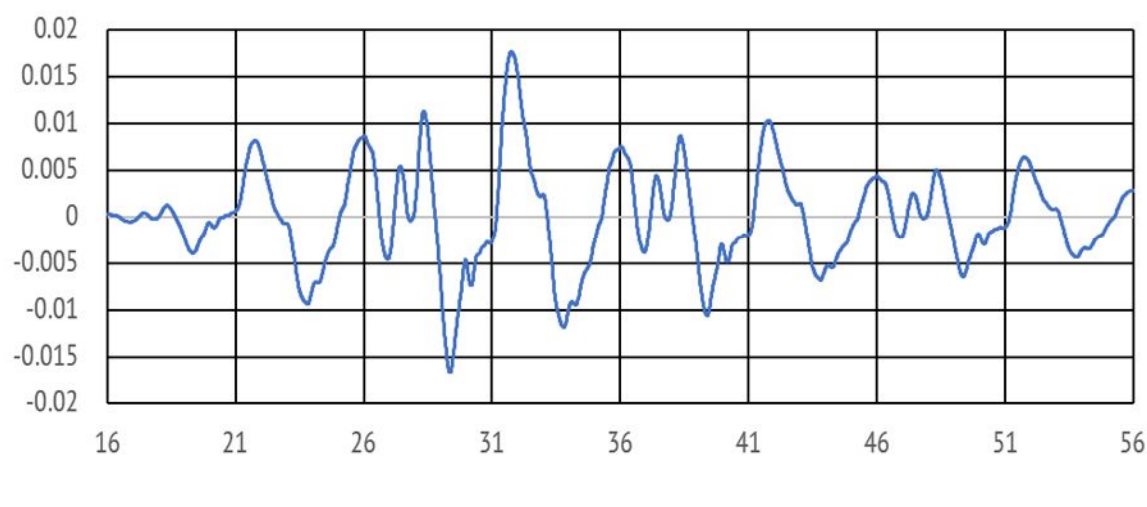
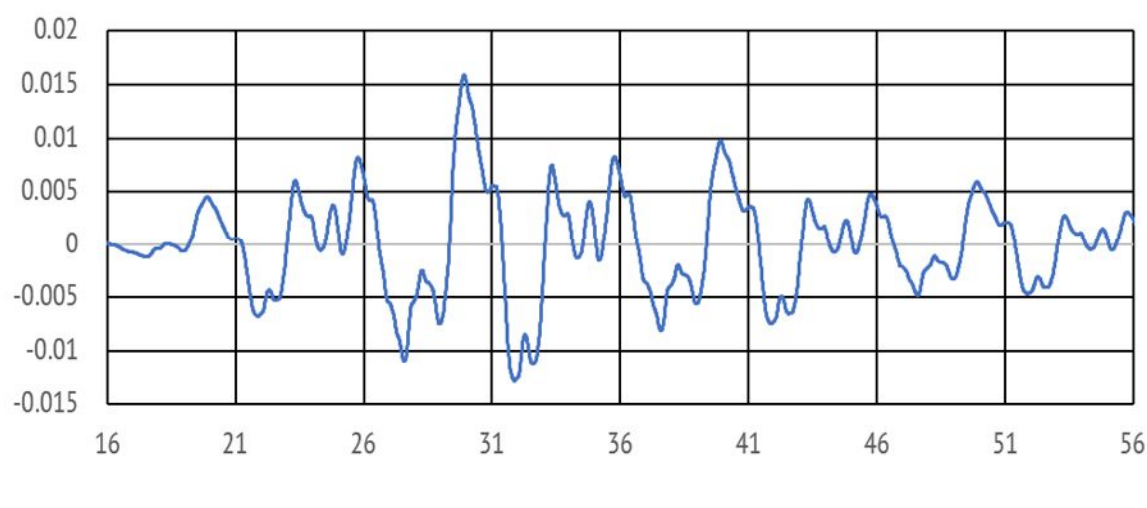


Рис. 7. РДМ мостового крана грузоподъемностью 130 тонн на отметке +24 м с полезным грузом $Q_{ном}=130$ т:
число узлов – 1755, число стержневых элементов – 840, число пластинчатых элементов – 1168, число
степеней свободы – 10423

Перемещение X, м



Перемещение Y, м



Перемещение Z, м

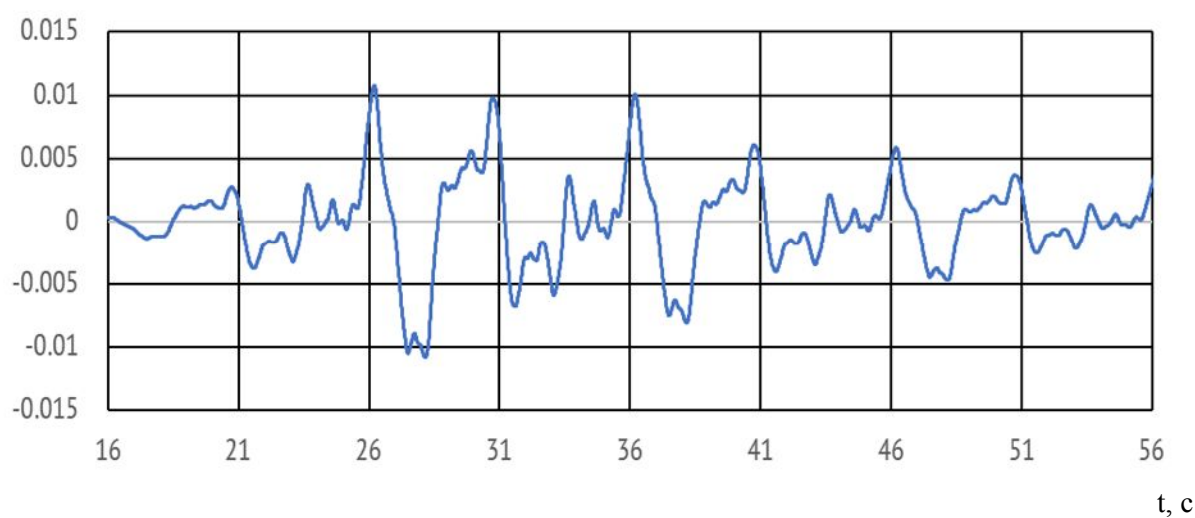


Рис. 8. Эффективная фаза исходной 3-х компонентной сейсмограммы 7,0 баллов MSK-64 на отм. +240 м площадки строительства

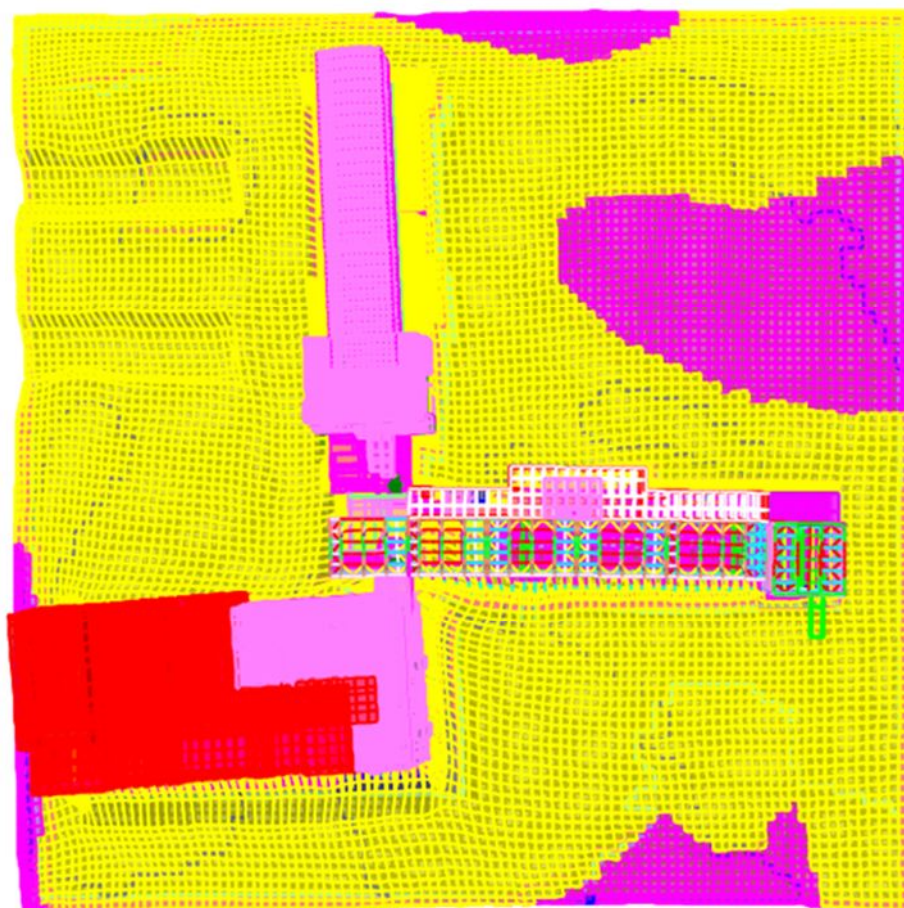


Рис. 9. Реакция (перемещение) узлов РДМ «грунт-здание-технологическое оборудование» в момент времени $t=19$ с при прохождении волнового СВ 7 баллов по шкале MSK-64, вид сверху, увеличено в 500 раз

Выводы. В заключении укажем, что по мнению авторов, наиболее перспективным и точным способом формирования модели сейсмического воздействия является представление его как волны, распространяющейся в земной коре. Такой подход позволяет описать сейсмическое воздействие с учётом всех физических особенностей грунта, а также учесть эффекты отражения и преломления сейсмических волн.

Учёт волновых свойств сейсмического воздействия оказался возможным только при применении системного подхода в вопросах расчётного обоснования сейсмостойкости сооружений, связанного с включением в единую взаимосвязанную конечно-элементную модель подсистемы грунтового основания, как среды распространения сейсмической волны. При этом моделирование сейсмического воздействия, как волнового процесса, позволяет сделать ряд замечаний:

1. Теоретической сейсмологией накоплен значительный опыт по моделированию распространения сейсмических волн от источника землетрясения (очага) к поверхности земли. Создано множество аналитических моделей распространения сейсмических волн, причем практически

все из них описывают область земной поверхности глубиной до нескольких километров. Для практических инженерных расчётов по обоснованию сейсмостойкости достаточно учитывать грунтовое основание в пределах поверхностного слоя земли в области, где грунтовое основание оказывает влияние на реакцию сооружения при прохождении землетрясения.

2. Вследствие ограниченности области моделируемого грунтового основания сейсмическая волна, как кинематическое воздействие, задается для границ расчётной модели грунтового основания со стороны прихода сейсмической волны и поляризовано в трех направлениях и прикладывается с задержкой в зависимости от скорости распространения сейсмической волны в грунте. Дальнейшее распространение сейсмической волны полностью определяется динамическими характеристиками РДМ грунтового основания, которые характеризуют конкретные грунтовые условия геологического разреза на строительной площадке. Подсистема грунтового основания в РДМ системы удовлетворяет общепризнанным критериям адекватности распространения сейсмических волн в грунте.

3. Сейсмическая волна в настоящей работе задана в виде распространяющейся волны в параметрах перемещений сейсмограммы.

4. Предлагаемый подход позволяет подвергать исследованию сейсмические колебания всех подсистем комплекса зданий, с учётом их взаимовлияния друг на друга. При этом, без дополнительных упрощений возможен учёт вращательных компонент реакции зданий при прохождении сейсмической волны, а также расчётный анализ сейсмической безопасности по режиму столкновений и возможных соударений стен отдельных блоков и корпусов зданий при различных амплитудных значениях совпадающих по фазе перемещений сопряжённых элементов стен отдельных корпусов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. М.: Госатомнадзор РФ, 2002. 27 с.
2. НП-043-11. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов для объектов использования атомной энергии // Ядерная и радиационная безопасность. 2014. №1 (71). С. 11–24.
3. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.: Минрегионразвития, 2014. 125 с.
4. Панасенко Н.Н., Синельщиков А.В. Линейно-спектральный метод теории сейсмостойкости подъёмных сооружений. Часть 1. Математическая модель расчётных сейсмических воздействий // Подъёмно-транспортное дело. 2017. № 4–5 (90). С. 2–7.
5. Панасенко Н.Н. Динамика и сейсмостойкость подъёмно-транспортного оборудования атомных станций. Диссерт. ... докт. техн. наук. В 2-х частях. Часть 1. Новочеркасск: НГТУ, 1992. 475 с.
6. Синельщиков А.В. Динамика и сейсмостойкость мостовых кранов: Диссерт. ... канд. техн. наук. Астрахань: АГТУ, 2000. 276 с.
7. МР 1.5.2.05.999.0025-2011. Расчёт и проектирование сейсмостойких атомных станций: методические рекомендации. М.: АОО «Концерн Росэнергоатом», 2011. 92 с.
8. РТМ 108.020.37-81 (переиздание с Изменением №1 1985 г.). Оборудование атомных энергетических установок. Расчёт на прочность при сейсмическом воздействии. Л.: НПО ЦКТИ, 1986. 35 с.
9. РБ 006 - 1998. Руководство по безопасности. Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ / Утв. пост. Госатомнадзора России от 29.12.1998, № 3.
10. Мацеля В.И., Сеелев И.Н., Скурыдина Е.С., Хафизов Р.Р., Панасенко Н.Н., Синельщиков А.В., Яковлев П.В. Вероятностно-статическая модель расчётного сейсмического воздействия на ОИАЭ г. Железнодорожск. Братск: Изд-во БРГУ. С. 263–277.
11. Назаров Ю.П. Расчётные параметры волновых полей сейсмических движений грунта. М.: Наука, 2015. 364 с.
12. Корчинский И.Л., Грилл А.А. Расчёт висячих покрытий на динамические воздействия (землетрясения, ветер). М.: Стройиздат, 1978. 220 с.
13. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. М.: Высш. школа, 1983. 304 с.
14. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территории городов, населённых пунктов и больших строительных площадок. М.: Наука, 2009. 350 с.
15. Idriss I.M., Sun J.I. SHAKE 91 – A computer program for conduction equivalent linear seismic response analysis of horizontally layered soils. CGM research report, UC Davis, 1992.
16. Панасенко Н.Н., Синельщиков А.В. Методы решения дифференциальных уравнений движения в задачах сейсмостойкости грузоподъёмных кранов // Наука и практика – 2017. Всероссийская междисциплинарная научная конференция, 16–20 октября 2017 г. [Электронный ресурс]: материалы / Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2017.

Информация об авторах

Синельщиков Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства. E-mail: laex@bk.ru. Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 414056, Астрахань, ул. Татищева, д. 18.

Панасенко Николай Никитович, доктор технических наук, профессор кафедры техники и технологии наземного транспорта. E-mail: psastr@mail.ru. Астраханский государственный технический университет. Россия, 414056, Астрахань, ул. Татищева, д. 16.

Поступила в июле 2018 г.

© Синельщиков А.В., Панасенко Н.Н., 2018

^{1,*}*Sinel'shchikov A.V.*, ²*Panasenko N.N.*

¹*Astrakhan state University of architecture and civil engineering
Russia, 414056, Astrakhan, Tatishcheva, 1*

²*Astrakhan state technical University
Russia, 414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16*

**E-mail: laex@bk.ru*

JUSTIFICATION OF SEISMIC STABILITY OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS TAKING INTO ACCOUNT THE WAVE PROPERTIES OF SEISMIC EFFECTS

Abstract. *The method of seismic stability calculation of the complex system of industrial building with a built-in technological equipment and lifting cranes in conjunction with a soil base is proposed. Industrial object is considered as a primary and secondary system. In contrast to the traditional approach of modelling seismic effects in the form of accelerograms (record acceleration at the ground surface), it is proposed to use a wave model of seismic effects in the form of soil base displacements (seismograms), which is included in the structure of dynamic model, taking into account the delay of volumetric seismic waves arrival. The subgrade is determined as the primary system. It perceives the seismic excitation that is transmitted to constructions and technological equipment. The estimated seismogram is obtained in conditions of actual ground state and seismological characteristics at the construction site. The proposed approach allows to study subsystems of buildings complex, taking into account their interaction. No additional simplifications are possible given the rotational component of the response of buildings during the passage of seismic waves, as well as the calculated analysis of seismic safety under the regime of collisions and possible collisions of blocks and building walls.*

Keywords: *method of dynamic analysis, linear-spectral method, seismic effects, finite element method, seismic resistance of buildings and structures, wave properties of seismic effects.*

REFERENCES

1. NP-031-01. The design standards of earthquake-resistant nuclear power plants. M.: Gosatomnadzor RF, 2002, 27 p.
2. NP-043-11. Rules for the Arrangement and Safe Operation of Cranes for Nuclear Power Facilities. Nuclear and Radiation Safety, 2014, no. 1 (71), pp. 11–24.
3. Construction in seismic regions. Updated version of SNiP II-7-81 *. M.: Minregionrazvitiya, 2014. 125 p.
4. Panasenکو N.N., Sinel'shchikov A.V. Linear-spectral method of the theory of seismic resistance of lifting structures. Part 1. Mathematical model of computed seismic actions. Lifting and transport, 2017, no. 4-5 (90), pp. 2–7.
5. Panasenکو N.N. Dynamics and seismic resistance of the handling equipment of nuclear power plants. Thesis. ... Doct. tech. sciences. In 2 parts. Part 1. Novocherkassk: NSTU, 1992, 475 p.
6. Sinel'shchikov A.V. Dynamics and seismic stability of bridge cranes: Dissert. ... cand. tech. sciences. Astrakhan: ASTU, 2000, 276 p.
7. MR 1.5.2.05.999.0025-2011. Calculation and design of earthquake resistant nuclear power plants: methodical recommendations. M.: JSC "Concern Rosenergoatom", 2011, 92 pp.
8. RTM 108.020.37-81 (reprint with Change No. 1 of 1985). Equipment of nuclear power plants. Calculation of strength under seismic action. L.: NPO CKTI, 1986, 35 p.
9. RB 006 - 1998. Safety Guide. Determination of initial seismic ground motions for design bases. Utm. fast. Gosatomnadzor of Russia from 29.12.1998, no. 3.
10. Macelia V.I., Selev I.N., Skuridina E.S., Khafizov R.R., Panasenکو N.N., Sinel'shchikov A.V., Probabilistic-static model of the calculated seismic effect on the OIAE in Zheleznogorsk. Bratsk: Publishing House of the BrSU, pp. 263–277.
11. Nazarov Yu.P. Calculated parameters of wave fields of seismic motions of soil. Moscow: Nauka, 2015, 364 p.
12. Korchinsky I.L., Grill A.A. Calculation of hanging coverages for dynamic effects (earthquakes, wind). Moscow: Stroiizdat, 1978, 220 p.
13. Polyakov S.V. Seismic building structures. M: High school, 1983, 304 p.
14. Zaalishvili V.B. Seismic microzoning of the territory of cities, settlements and large construction sites. Moscow: Nauka, 2009, 350 p.
15. Idriss I.M., Sun J.I. SHAKE 91 – A computer program for conduction equivalent linear seismic response analysis of horizontally layered soils. CGM research report, UC Davis, 1992.
16. Panasenکو N.N., Sinel'shchikov A.V. Methods of solving differential equations of motion in seismic stability of lifting cranes] Science and practice - 2017. All-Russian interdisciplinary scientific conference [Electronic resource]: materials / Astrakhan. state. tech. un-t. - Astrakhan: Publishing house of ASTU, 2017.

Information about the author

Sinelschikov, Alexey V. PhD, Assistant professor. E-mail: laex@bk.ru. Astrakhan state University of architecture and civil engineering. Russia, 414056, Astrakhan, Tatishcheva, 18.

Panasenko, Nikolay N. DSc, Professor. E-mail: psastr@mail.ru. Astrakhan state technical University. Russia, 414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16.

Received in Jule 2018

Для цитирования:

Синельщиков А.В., Панасенко Н.Н. Обоснование сейсмостойкости зданий и сооружений с учётом волновых свойств сейсмического воздействия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 52–63. DOI: 10.12737/article_5bd95a744377e9.98556143

For citation:

Sinel'shchikov A.V., Panasenکو N.N. Justification of seismic stability of buildings and constructions taking into account the wave properties of seismic effects. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 52–63. DOI: 10.12737/article_5bd95a744377e9.98556143

DOI: 10.12737/article_5bd95a75010906.70019486

¹Колчунов В.И., ^{2,*}Никулин А.И., ²Обернихин Д.В.¹Юго-Западный государственный университет

305040, г. Курск, 50 лет Октября ул., 94

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: Nikulin.ai@bstu.ru

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ С УЧЕТОМ НОВЫХ ЭФФЕКТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация. В изгибаемых железобетонных конструкциях после появления трещин возникает эффект нарушения сплошности, который заметно изменяет напряженно деформированное состояние в окрестностях, прилегающих к трещине. В статье рассмотрены предложения по совершенствованию метода расчета ширины раскрытия трещин с учетом новых эффектов сопротивления железобетона. Применительно к изгибаемым железобетонным элементам трапециевидного поперечного сечения разработана методика и получены расчетные формулы, базирующиеся на традиционных предпосылках теории железобетона и основных положениях механики разрушения. Предложены зависимости для определения теоретических значений ширины раскрытия трещины не только на расстоянии d , принятом за стандартное от поверхности арматуры, но и на удалении защитного слоя до боковых граней и нижней поверхности железобетонной конструкции, где она и замеряется в опытах с помощью микроскопа. Рассмотрены расчетные схемы полосок-консоль, вырезанных в окрестностях трещины. При этом распределение усилий в сечениях вырезанной полоски соответствует двум случаям, которые подробно рассмотрены в статье. Для каждого из них приведены точные решения для получаемых эпюр напряжений, а также предложены аппроксимирующие зависимости для их описания, что существенно упрощает итоговые расчетные формулы. На основании обработки имеющихся опытных данных получена эмпирическая зависимость ширины раскрытия трещин от расстояния до поверхности арматуры. До накопления достаточного количества экспериментальных данных её использование в практике проектирования имеет некоторые ограничения. Проведенными исследованиями выявлено, что учет эффекта нарушения сплошности железобетона позволяет существенно уточнить значения ширины раскрытия трещин и объяснить многие замеченные в экспериментах явления, происходящие при сопротивлении железобетонных конструкций силовым и деформационным воздействиям.

Ключевые слова: ширина раскрытия трещины, железобетон, изгибаемый элемент, арматура, двухконсольный элемент.

Введение. Железобетонные конструкции, как правило, эксплуатируются в стадии, наступающей после образования трещин (ограничивается лишь ширина их раскрытия). Поэтому естественным является стремление изучить напряженно-деформированное состояние в окрестности трещины.

Процесс раскрытия трещин в элементах железобетонных конструкций – явление достаточно сложное. Его анализ усложняется еще и потому что основная гипотеза механики твердого деформируемого тела (гипотеза сплошности), здесь неприменима, – сплошность нарушается с образованием макротрещин. Использование упрощенных подходов здесь также невозможно так как, допускаемая при этом погрешность превышает значение самой отыскиваемой характеристики a_{crs} , измеряемой в опытах с помощью микроскопа.

В существующих нормативных документах, расчет по ширине раскрытия трещин в целом ряде случаев становится определяющим даже

при подборе рабочего армирования. Это вызывает необходимость более глубокого исследования затронутого вопроса, в том числе и применительно к трапециевидным поперечным сечениям, – заметно сдерживающих раскрытие трещин в железобетонных конструкциях.

В последние годы целым рядом исследований [2–6, 9–11, 13, 14] установлено, что в железобетоне после появления трещин возникает эффект нарушения сплошности, который заметно изменяет напряженно деформированное состояние в окрестностях, прилегающих к трещине. Ниже рассмотрены предложения по совершенствованию метода расчета ширины раскрытия трещин с учетом новых эффектов сопротивления железобетона.

Основная часть. Будем различать ширину раскрытия трещин на уровне расстояния d от поверхности арматуры и на уровне боковых и нижней граней железобетонных конструкций. Дело в

том, что при проведении экспериментальных исследований ширину раскрытия трещин замеряют с помощью микроскопа именно на боковых и нижних гранях железобетонных конструкций, а контакт сцепления бетонной матрицы с боковой поверхностью арматуры осуществляется на некотором удалении от этих поверхностей. Это удаление составляет размер защитного слоя бетона, который, как известно, принимается не менее диаметра рабочей арматуры d и составляет в железобетонных конструкциях, как правило, 20 – 70 мм (последнее значение, например, принимается для фундаментов при отсутствии щебеночной подготовки).

Согласно гипотезе Томаса, под шириной раскрытия трещин понимается накопление относительных взаимных смещений арматуры и бетона $\varepsilon_q(x)$. Для конкретизации будем отталкиваться от эталонного значения защитного слоя, равного диаметру рабочей арматуры. При этом, если размер действительного защитного слоя превышает эталонное значение, то возникает необходимость в учете дополнительного раскрытия трещины, обусловленного разницей между этими значениями.

Для построения расчетной схемы вырежем полоску шириной d , прилегающую к поверхности рабочей арматуры и к боковым или нижней граням железобетонной конструкции (рис. 1).

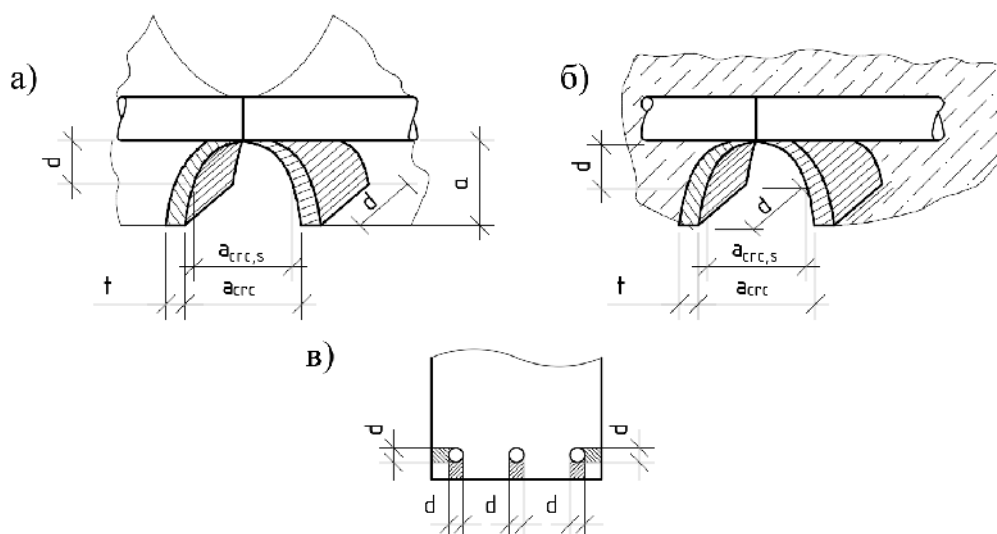


Рис. 1. Расчетные схемы полосок-консоль, вырезанных в окрестностях боковых или нижней граней железобетонной конструкции: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; *в* – расположение вырезанных полосок в поперечном сечении

При этом, как уже было отмечено, в окрестности, прилегающей к трещине, будем учитывать деформационный эффект, связанный с наруше-

нием сплошности бетона, который обуславливает наличие местных сдвигающих усилий ΔT и дополнительных распределенных моментов ΔM (рис. 2).

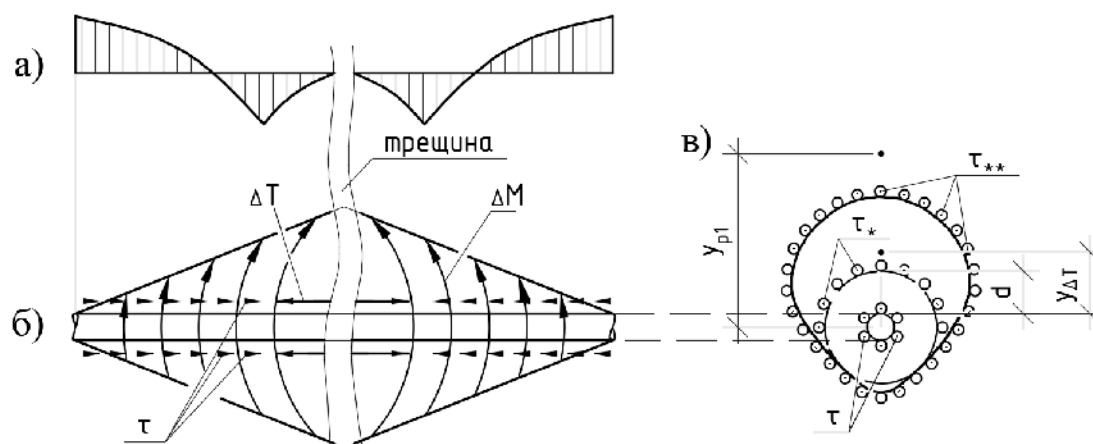


Рис. 2. Дополнительные усилия, возникающие в местной зоне, прилегающей к трещине из-за нарушения сплошности бетона: *а* – эпюра деформаций в бетоне; *б* – дополнительные распределенные моменты ΔM ; *в* – распределение касательных усилий в околоарматурной зоне

Распределение усилий в сечениях вырезанной полосы обуславливает 2 случая, которые рассмотрены ниже.

Случай 1. Эпюры распределения напряжений и деформаций приведены на рис. 3. Здесь для описания эпюры напряжения используется квадратная парабола:

$$y - Ax^2 + Bx + C \quad (1)$$

1) При $x=0$

$$y = \sigma_{bt,c} \quad (2)$$

2) При $x=l_r$ ($l_r=a$, см. рисунок 1)

$$y = R_{bt} \quad (3)$$

3) При $y=0$, $x=x_0$

$$\frac{dy}{dx} = tg\alpha = E_b \quad (4)$$

4) При $y=0$, $x=x_0$

$$Ax_0^2 + Bx_0 + C = 0 \quad (5)$$

При выполнении условия 2 из зависимости 1 следует, что

$$C = \sigma_{bt,c} \quad (6)$$

При выполнении условия 3 из зависимости 1 следует

$$R_{bt} = Al_r^2 + Bl_r + \sigma_{bt,c} \quad (7)$$

Из уравнения 7 будем иметь:

$$A = \frac{-\sigma_{bt,c} + R_{bt} - B \cdot l_r}{l_r^2} \quad (8)$$

Из условия 4 получим:

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=x_0} = 2Ax_0 + B = E_b \quad (9)$$

Отсюда следует

$$B = E_b - 2A \cdot x_0 \quad (10)$$

При выполнении условия 5 из зависимости 1 получим уравнение:

$$2Ax_0^2 + Bx_0 + \sigma_{bt,c} = 0 \quad (11)$$

В этом уравнении неизвестным является x_0 .

Таким образом, для определения 4-х неизвестных C , A , B , x_0 имеем 4 уравнения: равенство (6) и уравнения (8), (10) и (11), соответственно.

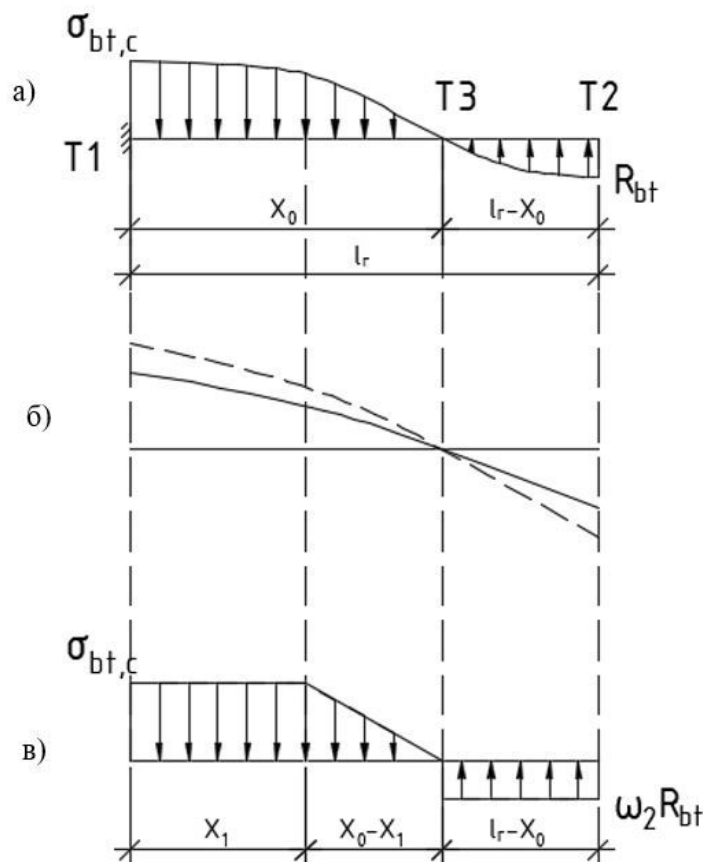


Рис. 3. Эпюры распределения напряжений и деформаций на участках 1–3 и 3–2 (случай 1):
 а – действительная эпюра напряжений; б – аффиноподобное распределение деформаций; в – эпюра напряжений принятая для практического расчета

Чтобы не усложнять расчет сложными алгебраическими преобразованиями и громоздкими зависимостями, систему уравнений (8), (10) и (11) будем решать методом последовательных приближений. При этом, в качестве первого приближения принимаем из условия аффиноподобия (рис. 3, б)

$$\frac{\varepsilon_{bt,c}}{\varepsilon_{bt,u}} = \frac{x_0}{l_r - x_0}, \quad (12)$$

где

$$\varepsilon_{bt,c} = \frac{\sigma_{bt,c}}{E_b \cdot \nu_b}; \quad \varepsilon_{bt,u} = \frac{2R_{bt}}{E_b}; \quad \nu_b = 0,45$$

$$x_0 = \frac{\varepsilon_{bt,c} \cdot l_r}{\varepsilon_{bt,u} + \varepsilon_{bt,c}} \quad (13)$$

После этого, решая совместно уравнения (8) и (10), получим:

$$A = \frac{-\sigma_{bt,c} + R_{bt} - E_b \cdot l_r}{l_r^2 - 2l_r \cdot x_0} \quad (14)$$

Тогда параметр B будем определять по зависимости (10).

После этого можно уточнить параметр $x_{0,1}$ из уравнения:

$$x_{0,1} = -\frac{B}{2A} \pm \sqrt{\frac{B^2}{4A^2} - \frac{\sigma_{bt,c}}{A}} \leq l_r \quad (15)$$

Полученное значение сравниваем с его приближенным значением по зависимости (13).

На следующем шаге итерации принимаем

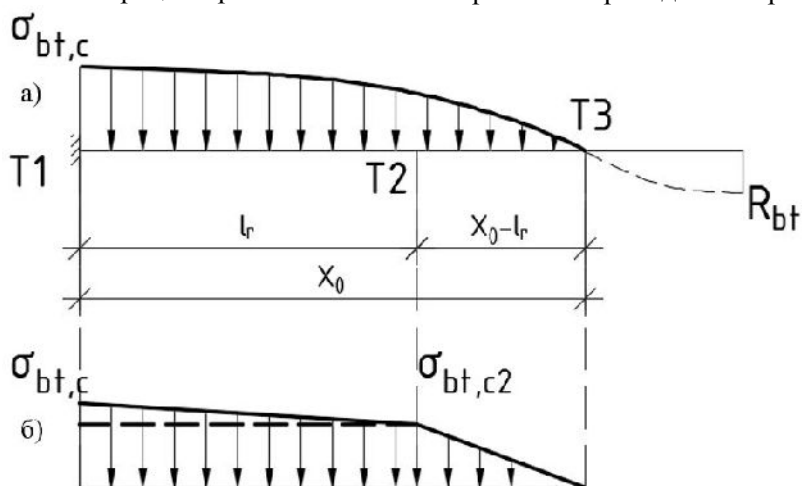


Рис. 4. Эпюры распределения напряжений на участках 1–2 и 2–3 (случай 2):

а – действительная эпюра напряжений; б – эпюра напряжений, принятая для практического расчета

Для описания эпюры распределения напряжений будем использовать параболу по уравнению (1). Для определения её параметров воспользуемся следующими условиями:

- 1) условие совпадает с уравнением (2);
- 2) условие совпадает с уравнением (4);

$$x_{0,2} = \frac{x_0 + x_{0,1}}{2} \quad (16)$$

Итерации повторяются до получения требуемой точности расчета.

Проведенные обширные численные исследования показали, что на участке от Т1 до Т3 искомая эпюра распределения напряжений действительно близка к параболе и, следовательно, коэффициент заполнения эпюры $\omega_1 = 2/3$.

На участке же от Т3 до Т2 коэффициент заполнения эпюры близок к $\omega_2 = 5/6$.

Поэтому для дальнейшего построения способа расчета принимаем усредненную эпюру на участке 1–3, состоящую из двух фигур: прямоугольника и треугольника (рис. 3, в), а на участке 3–2: в виде прямоугольника с ординатой $\omega_2 \cdot R_{bt}$.

При этом параметр x_1 определяется из условия, в соответствии с которым сумма площадей прямоугольника и треугольника с ординатой $\sigma_{bt,c}$ на участке 1–3 равна площади параболы с коэффициентом заполнения, равном $\omega_1 = 2/3$:

$$\sigma_{bt,c} \cdot x_1 + 0,5\sigma_{bt,c} \cdot (x_0 - x_1) = \omega_1 \cdot \sigma_{bt,c} \cdot x_0 \quad (17)$$

Отсюда следует, что

$$x_1 = \frac{1}{3}x_0 \quad (18)$$

Если неравенство, ограничивающее зависимость (15), не выполняется, т.е. $x_0 > l_r$, – это означает, что мы переходим к расчетному случаю 2.

Случай 2. Эпюры распределения действительных и принятых для практического расчета напряжений приведены на рисунке 4.

3) $x_0 = l_r$ ($x_0 = a$, см. рисунок 1), $y = \sigma_{bt,c}$;

4) при $x = x_0$ $y = 0$.

Тогда параметры C и B определяются из зависимостей (6) и (10).

Параметр A отыскивается из уравнения

$$\sigma_{bt,c2} = A \cdot l_r^2 + B l_r + \sigma_{bt,c} \quad (19)$$

Отсюда следует:

$$A = \frac{\sigma_{bt,c} - \sigma_{bt,c2} + B \cdot l_r}{l_r^2} \quad (20)$$

Расстояние x_0 до точки Т3, в которой $y=0$ (рисунок 2), известно, – оно следует из зависимости (15) для случая 1 при обращении неравенства в равенство.

Тогда зная x_0 , из 4-го условия получим параметр A

$$A x_0^2 + B x_0 + \sigma_{bt,c} = 0 \quad (21)$$

Из (21) следует

$$A = \frac{-B \cdot x_0 - 2 \cdot \sigma_{bt,c}}{x_0^2} \quad (22)$$

Раскрывая параметр B , получим

$$A = \frac{\sigma_{bt,c} + E_b x_0}{x_0^2} \quad (23)$$

С другой стороны, из третьего условия

$$A = \frac{\sigma_{bt,c} - \sigma_{bt,c2} + B \cdot l_r}{l_r^2} \quad (24)$$

Приравняв (24) и (23), получим

$$\sigma_{bt,c2} = \sigma_{bt,c} \left(1 + \frac{l_r^2}{x_0^2} \right) + B \cdot \left(l_r + \frac{l_r}{x_0^2} \right) \quad (25)$$

Из проведенных численных исследований следует, что на участке от Т1 до Т2 (рис. 2) эпюру распределения напряжений можно упростить, приняв её в виде трапеции, а на участке от Т2 до Т3, – в виде треугольника (рис. 4, б). При этом, если параметр x_0 приближается к параметру l_r , то случай 2 упрощается и вместо двух фигур, трапеции и треугольника, будет одна, – в виде треугольника с ординатой, равной $\sigma_{bt,c}$. Вторая ордината будет стремиться к 0, – имеем частный вариант случая 2, – здесь точки 2 и 3 совпадают и $x_0 = l_r$, который в практических расчетах встречается крайне редко.

Теперь, располагая эпюрами распределения усилий по мере удаления от поверхности арматурного стержня до боковой или нижней граней железобетонной конструкции, можно определить перемещения полосок-консоль, принятых в качестве расчетной схемы (рис. 1 и 2). В принятой расчетной схеме также учитываются дополнительный момент ΔM и сосредоточенная сила ΔT , возникающие в зоне, прилегающей к трещине из-за нарушения сплошности.

Здесь следует подчеркнуть, что необходимо различать ширину раскрытия трещины на удалении d от поверхности арматуры и на удалении защитного слоя до боковых и нижней граней железобетонной конструкции (рис. 1).

Тогда усилие, отыскиваемое в продольной арматуре, распределяется пропорционально произведению площади на периметр i -го арматурного стержня:

$$\frac{N_s}{N_{s,i}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{s,i} S_s}{A_{s,i} \cdot S_i} \quad (26)$$

В расчете определяющей будет та полоска-консоль, для которой ширина раскрытия трещины на поверхности железобетонной конструкции будет наибольшей.

В итоге расчетная схема вырезанных полосок-консоль принимает вид (рис. 5).

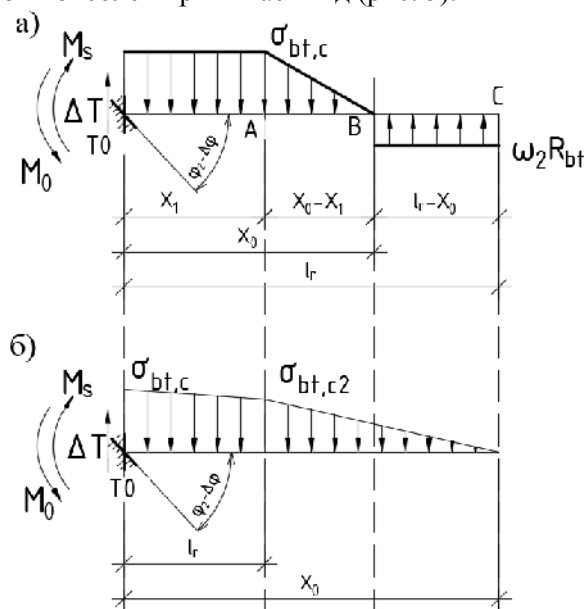


Рис. 5. Расчетные схемы вырезанных полосок-консоль: а – случай 1; б – случай 2

На рис. 5:

M_0 – моментная реакция в заделке; M_s – нагельный момент в арматуре, полученный из двухконсольного элемента [1],

$M_s = X_3 = \Delta T \cdot y_{\Delta T}$; φ_2 – угол поворота заделки, равный $\varphi_2 = \frac{0,5 \cdot a_{cr,c,s} \cdot k_r}{a_p}$, где a_p – величина защит-

ного слоя; $\Delta \varphi$ – угол поворота заделки, обусловленный поворотом изогнутой оси железобетонной конструкции [1] (учитывается только для трещин снизу, при рассмотрении для трещин, развивающихся до боковой поверхности конструкции, $\Delta \varphi$ принимается равным 0); ΔT – определяется из расчетной схемы двухконсольного

элемента [1, 8, 14]; ΔM – дополнительный момент, возникающий в зоне, прилегающей к трещине из-за нарушения сплошности.

Для трещины снизу $\Delta M = \Delta T \cdot y_{\Delta t} - P_1 \cdot y_{p1}$.

$$EI \cdot y_r = \frac{\sum EI \cdot (\varphi_2 - \Delta \varphi) l_r}{1!} + \frac{\sum M_0 \cdot l_r^2}{2!} - \frac{X_3 \cdot l_r^2}{2!} - \frac{\sum \Delta M \cdot l_r^2}{2!} + \frac{\Delta T l_r^3}{3!} - \frac{q_1 l_r^4}{4!} + \frac{q_1 (l_r - x_1)^4}{4!} - \frac{q_1 (l_r - x_1)^4}{4!} + \frac{(q_1 + q_2) \cdot (l_r - x_1)^5}{5!} - \frac{(q_1 + q_2) \cdot (l_r - x_0)^5}{5!} + \frac{q_{Rbt} \cdot (l_r - x_0)^4}{4!} \quad (27)$$

где

$$q_1 = \sigma_{bt,c} \cdot d \quad (28)$$

$$q_2 = q_1 \cdot \frac{l_r - x_0}{x_0 - x_1} \quad (29)$$

Для трещины сбоку $\Delta M = \Delta T \cdot y_{\Delta t}$.

Опираясь на предложенную расчетную схему, для случая 1 (рис. 5, а) будем иметь:

$$q_{Rbt} = R_{bt} \cdot d \quad (30)$$

Для записи формулы (27) был использован дополнительный рис. 6.

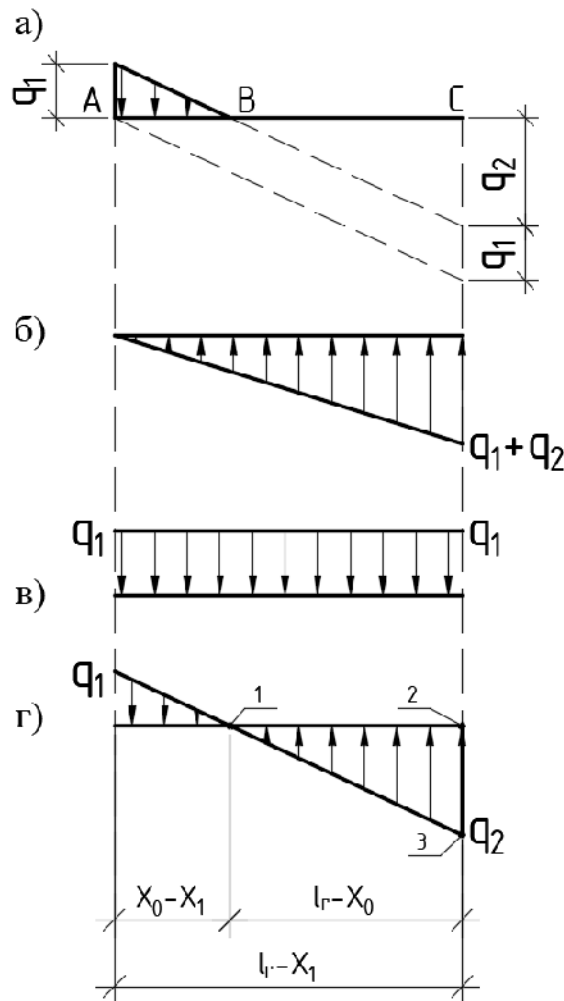


Рис. 6. Преобразование заданной нагрузки (а) к необходимому виду, принятому в методе начальных параметров путем сложения эпюры (б) и эпюры (в) и вычитания из результирующей (г) дополнительного треугольника 1–2–3 на участке В–С

Опираясь на предложенную расчетную схему, для случая 2 (рис. 5, б) будем иметь:

$$EI \cdot y_{x0} = \frac{\sum EI \cdot (\varphi_2 - \Delta \varphi) \cdot x_0}{1!} + \frac{\sum M_0 \cdot x_0^2}{2!} - \frac{X_3 \cdot x_0^2}{2!} - \frac{\sum \Delta M \cdot x_0^2}{2!} + \frac{\Delta T x_0^3}{3!} - \frac{q_1 x_0^4}{4!} + \frac{(q_1 + q_2) \cdot x_0^5}{5!} - \frac{q_2 (x_0 - l_r)^5}{5!} - \frac{q_{bt,c2} \cdot (x_0 - l_r)^4}{4!} + \frac{q_{bt,c2} \cdot (x_0 - l_r)^5}{5!} \quad (31)$$

где

$$q_2 = (\sigma_{bt,c} - \sigma_{bt,c2}) \cdot d \cdot \frac{x_0 - l_r}{l_r} \quad (32)$$

$$q_{bt,c2} = \sigma_{bt,c2} \cdot d \quad (33)$$

Для записи формулы (31) был использован дополнительный рисунок 7.

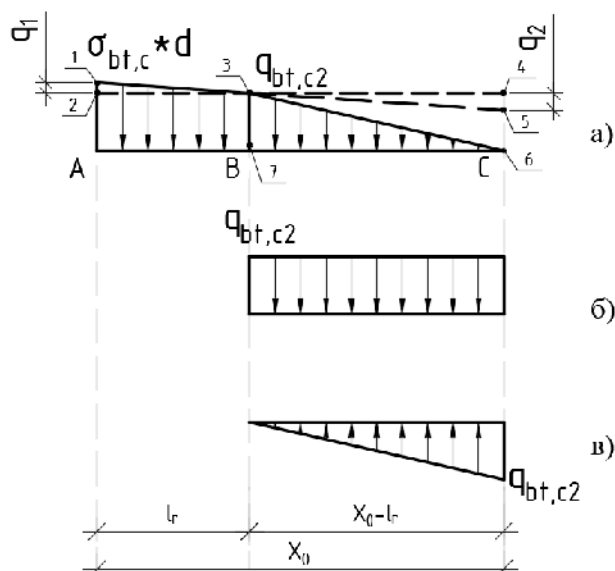


Рис. 7. Преобразование заданной нагрузки на участке В–С к необходимому виду, принятому в методе начальных параметров путем сложения эпюры (б) и эпюры (в)

Преобразование заданной нагрузки на участке А–В (треугольник 1–2–3 и треугольник 3–4–5 на рис. 7, а) к виду метода начальных параметров выполняется аналогично случаю 1 (рисунок 6).

Преобразование заданной нагрузки на участке В–С (треугольник 3–6–7 на рис. 7, а) к виду метода начальных параметров выполняется путем сложения прямоугольной (рис. 7, б) и треугольной (рис. 7, в) эпюр.

Численный анализ показывает, что перемещения в зоне защитного слоя u_r и u_0 , вычисленные по формуле (27) (случай 1) и по формуле (31) (случай 2), достаточно близки к экспериментальным данным [5, 6, 7].

Аналогичным образом можно определить перемещения u_{ds} при l_r или x_0 , равным d , соответственно, для первого и второго случаев. При этом формула (27) записывается без последних четырех слагаемых, а формула (31) без последних двух слагаемых.

Тогда ширину раскрытия трещины a_{crc} на боковых или нижней поверхностях железобетонной конструкции можно определить, располагая её теоретическим значением $a_{crc,s}$, умноженным на коэффициент k_r :

$$a_{crc} = a_{crc,s} \cdot k_r \quad (34)$$

Коэффициент k_r определяется по формуле:

$$\text{– случай 1, } k_r = \frac{y_r}{y_{ds}} \quad (35)$$

$$\text{– случай 2, } k_r = \frac{y_{x0}}{y_{ds}} \quad (36)$$

При этом теоретическое значение ширины раскрытия трещин $a_{crc,s}$ определяется по формуле [12]:

$$a_{crc,s} = -\frac{2\Delta T}{G} + \frac{2B_3}{B} \left(1 - e^{-B \cdot (0,5l_{crc} - t^*)}\right) \quad (37)$$

где l_{crc} – расстояние между трещинами; B , B_3 , G , ΔT – параметры сцепления арматуры с бетоном. Их физический смысл подробно охарактеризован в работе [12].

В свою очередь, обработка опытных данных позволяет получить следующую зависимость:

$$2f_R = \frac{2 \cdot 0,0163 \cdot 100 \cdot \sigma_s \cdot (1 - e^{-0,516 \cdot r}) \cdot 10}{100 \cdot R_s} \quad (38)$$

Здесь f_R – экспериментальное перемещение волокон бетона, расположенных на расстоянии r от поверхности арматуры в направлении её продольной оси в сечении с трещиной (депланация в сечении с трещиной); r – радиус околоарматурной зоны до рассматриваемых волокон; σ_s и R_s – напряжение в арматуре и предел текучести арматуры, соответственно; σ_s и R_s принимаются в кН/см^2 , а значение f_R в мм .

До накопления достаточного количества экспериментальных данных и проведения сопоставительного анализа принято целесообразным вводить в расчет ограничение для коэффициента k_r в соответствии с неравенством:

$$k_r \leq \frac{f_{R,p}}{f_{R,ds}} \quad (38)$$

где $f_{R,p}$ – экспериментальное перемещение волокон бетона, расположенных на боковых или нижней гранях железобетонной конструкции в направлении продольной оси арматуры в сечении с трещиной (депланация в сечении с трещиной);

$f_{R,ds}$ – экспериментальное перемещение волокон бетона, расположенных на расстоянии $r=d$ от поверхности арматуры в направлении продольной её оси, в сечении с трещиной (депланация в сечении с трещиной до уровня $r=d$).

Выводы

1. Разработана методика определения ширины раскрытия трещин и получены расчетные формулы, базирующиеся на традиционных пред-

посылках теории железобетона и основных положениях механики разрушения, позволяющие заметно приблизить этот важнейший расчетный параметр к действительному экспериментальному значению. Предложены зависимости для определения теоретических значений ширины раскрытия трещины не только на расстоянии d (принятой за стандартное) от поверхности арматуры, но и на удалении защитного слоя до боковых граней и нижней поверхности железобетонной конструкции, где она и замеряется в опытах с помощью микроскопа.

2. В свою очередь, обработка имеющихся опытных данных позволила получить эмпирическую зависимость ширины раскрытия трещин от расстояния до поверхности арматуры. До накопления достаточного количества экспериментальных данных и проведения сопоставительного анализа было принято целесообразным ввести в расчет необходимое ограничение.

3. Проведенные исследования показали, что учет эффекта нарушения сплошности железобетона позволяет существенно уточнить значения ширины раскрытия трещин и объяснить многие замеченные в экспериментах явления, происходящие при сопротивлении железобетонных конструкций силовым и деформационным воздействиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко В.М., Колчунов Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: Изд-во АСВ, 2004. 472 с.
2. Голышев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона. Киев: Изд-во Основа, 2009. 432 с.
3. Федоров В.С., Шавыкина Е.В., Колчунов В.И. Методика расчета ширины раскрытия трещин в железобетонных внецентренно сжатых конструкциях с учетом эффекта нарушения сплошности // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. № 1. С. 8–11.
4. Колчунов Вл.И., Яковенко И.А., Ключева Н.В. К построению расчетной модели ширины раскрытия наклонных трещин в составных железобетонных конструкциях // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. №1(252). С. 13–17.
5. Колчунов Вл.И., Яковенко И.А., Дмитриенко Е.А. Методика экспериментальных исследований сцепления арматуры с бетоном при выдергивании (сжатии) арматурного стержня из бетона (в бетон) с учетом ниспадающей ветви деформирования // В сб. науч. трудов: Ресурсоёмкие материалы, конструкции, здания и сооружения. Рівне, 2016. № 33. С. 162–173.
6. Колчунов Вл.И., Яковенко И.А. Об использовании гипотезы плоских сечений в железобетоне // Строительство и реконструкция. 2011. №6. С. 16–23.
7. Колчунов Вл.И., Яковенко И.А. Об учете эффекта нарушения сплошности в железобетоне при проектировании реконструкции предприятий текстильной промышленности // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 3. С. 258–263.
8. Колчунов Вл.И., Яковенко И.А. Разработка двухконсольного элемента механики разрушения для расчета ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2009. №4. С. 160–163.
9. Смоляго Г.А. Оценка уровня конструктивной безопасности железобетонных конструкций по трещиностойкости // Промышленное и гражданское строительство. 2003. № 4. С. 62–63.
10. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Прочность и трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного поперечного сечения с нижней широкой гранью // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 66–72.
11. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Рубанов В.Г., Свентиков А.А. Трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения на основе применения нелинейной деформационной модели // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 58–63.
12. Бамбура А.М., Павликов А.М. Колчунов В.И., Кочкарёв Д.В., Яковенко И.А. Практичний посібник із розрахунку залізобетонних конструкцій за діючими нормами України (ДБН В2.6–98:2009) та новими моделями деформування, що розролені на їхню заміну. Киев: Изд-во Талком, 2017. 627 с.
13. Iakovenko I., Kolchunov V.I. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states // Journal of Applied Engineering Science. 2017. Vol. 15(2017)3. Pp. 366–375. DOI:10.5937/jaes15–14662.
14. Salnikov A., Kolchunov V.I., Iakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725–726. Pp. 784–789.

Информация об авторах

Колчунов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры строительства уникальных зданий и сооружений. E-mail: vlik52@mail.ru. Юго-Западный государственный университет. Россия, 305040, г. Курск, 50 лет Октября ул., 94.

Никулин Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: Nikulin.ai@bstu.ru; nikulin137@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Обернихин Дмитрий Вячеславович, старший преподаватель кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: obernikhindmitriy@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июне 2018 г.

© Колчунов Вл.И., Никулин А.И., Обернихин Д.В., 2018

¹Kolchunov V.I., ²*Nikulin A.I., ²Obernikhin D.V.

¹Southwest State University

Russia, 308012, Kursk, str. 50 let Oktyabrya, 94

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: Nikulin.ai@bstu.ru

WIDTH DISCLOSURE CRACKS OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS OF TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION TAKING INTO ACCOUNT NEW EFFECTS OF RESISTANCE

Abstract. The effect of discontinuity occurs in result of cracks in flexible concrete structures. It significantly changes the stress-strain condition near the crack. The article investigates proposals for improving the calculating method of cracks disclosure width in the light of new effects of reinforced concrete resistance. With regard to bending reinforced concrete elements of a trapezoidal cross-section, the technique is developed and the calculation formulas are obtained. They are based on traditional premises of the reinforced concrete theory and the basic principles of fracture mechanics. Dependencies are proposed for determining theoretical values of the crack width at a distance d , taken as a standard of armature surface, and at a distance of the protective layer to the side and the bottom surface of the reinforced concrete structure, where it is measured by using a microscope. The design schemes of cantilever strips cut near the crack are considered. At the same time, the distribution of efforts in the sections of cut strip corresponds to both cases discussed in the article. For each case, exact solutions for the resulting stress diagrams and approximating dependencies for description, which simplifies the final calculation formulas, are given. Based on the processing of available experimental data, the empirical dependence of the crack width on the distance to the armature surface is obtained. Without accumulating a sufficient amount of experimental data, its use in design practice has limitations. Studies have shown that the inclusion of the discontinuity effect of reinforced concrete can significantly clarify the values of the crack width. Furthermore, it explains some phenomena in experiments, occurred when reinforced concrete structures resist force and deformation effects.

Keywords: cracks disclosure width, reinforced concrete, flexible element, reinforce, dual console element.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Calculation models of the power of resistance of reinforced concrete. Moscow.: ASV, 2004, 472 p.
2. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Resistance of reinforced concrete. Kiev.: Osnova, 2009, 432 p.
3. Fedorov V.S., Shavykin E.V., Kolchunov V.I. The method of calculating the width of the disclosure of the cracks in reinforced concrete patands compressed structures considering the effect of damages. Structural mechanics and calculation of structures, 2009, no 1, pp. 8–11.
4. Kolchunov V.I., Klyueva I.A., Yakovenko N.V. To build the design model disclosure width inclined cracks in composite reinforced concrete structures. Structural mechanics and calculation of structures, 2014, no 1(252), pp. 13–17.
5. Kolchunov V.I., Iakovenko I.A., Dmitrienko E.A. The methodology of experimental research of coupling of reinforcement with concrete while pulling (compression) of reinforcing rod of concrete (concrete) subject to descending branches deformation. Resource-intensive materials, constructions, buildings and structures, no 33, Rivne, 2016, pp. 162–173.
6. Kolchunov V.I., Iakovenko I.A., About using the hypothesis of flat sections in reinforced concrete. Construction and reconstruction, 2011, no. 6, pp. 16–23.
7. Kolchunov V.I., Iakovenko I.A. Of accounting for the effect of damages of reinforced concrete in reconstruction projects of enterprises of textile industry. Proceedings of high schools. Technology of the textile industry, 2016, no. 3, pp. 258–263.

8. Kolchunov V.I., Iakovenko I.A. Development of a twoconsole element of fracture mechanics to calculate the width of the disclosure of the cracks in reinforced concrete structures. Bulletin of civil engineers, 2009, no. 4. pp. 160–163.

9. Smoljago G.A. Evaluation of the level of constructive security crack-resistance of reinforced concrete constructions. Industrial and civil construction, 2003, no. 4, pp. 62–63.

10. Obernihin D.V., Nikulin A.I. Strength and fracture toughness of steel reinforced concrete elements of trapezoidal cross-section with lower general face. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 4, pp. 66–72.

11. Nikulin A.I., Obernihin D.V., Rubanov V.G., Sventikov A.A. Fracture toughness of steel reinforced concrete elements of trapezoidal cross-section based on the application of nonlinear deformation models. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 2, pp. 58–63.

12. Bambura A.M., Pavlikov A.M. Kolchunov V.I., Kochkarjov D.V., Iakovenko I.A. Practical collection of calculation concrete structures according to the applicable norms of Ukraine (DBN V2.6–98:2009) and new models of deformation that are rooted in their replacement. Kiev: Talkom. 2017, 627 p.

13. Iakovenko I., Kolchunov V.I. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. Journal of Applied Engineering Science, 2017, vol. 15(2017)3, pp. 366–375. DOI:10.5937/jaes15–14662.

14. Salnikov A., Kolchunov V.I., Iakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending. Applied Mechanics and Materials. 2015, vol. 725–726, pp. 784–789.

Information about the author

Kolchunov, Vladimir I. DSc, Professor. E-mail: vlik52@mail.ru. Southwest State University. Russia, 308012, Kursk, str. 50 let Oktyabrya, 94.

Nikulin, Alexandr I. PhD, Assistant professor. E-mail: Nikulin.ai@bstu.ru; nikulin137@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Obernikhin, Dmitriy V. Senior lecturer. E-mail: obernikhindmitriy@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in June 2018

Для цитирования:

Колчунов В.И., Никулин А.И., Обернихин Д.В. Ширина раскрытия трещин железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения с учетом новых эффектов сопротивления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 64–73. DOI: 10.12737/article_5bd95a75010906.70019486

For citation:

Kolchunov V.I., Nikulin A.I., Obernikhin D.V. Width disclosure cracks of reinforced concrete constructions of trapezoidal cross-section taking into account new effects of resistance. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 64–73. DOI: 10.12737/article_5bd95a75010906.70019486

DOI: 10.12737/article_5bd95a755cd1e3.14923279

^{1,*}Синеев А.А.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

*E-mail: sineevanton@mail.ru

ОБ УЧЕТЕ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЕТАХ

Аннотация. В связи с активным развитием вычислительной техники последние несколько десятилетий, все больше проблем человеческой деятельности решаются с помощью информационно-вычислительных систем. В частности, применение персональных компьютеров и специализированных расчетных комплексов совместно с базами данных нормативной документации позволяет обеспечить безопасность возведения и эксплуатации зданий и сооружений, сократить трудозатраты при расчете конструкций и мониторинге напряженно-деформированного состояния, применять уникальные решения при проектировании и строительстве. Однако в большинстве случаев проводимые расчеты абстрактны и не полностью учитывают все воздействия на возводимые или эксплуатируемые здания и сооружения, реальные характеристики материалов, дефекты и несовершенства элементов конструкций. Данный факт обуславливает необходимость обследования и мониторинга состояния вновь возводимых зданий и сооружений как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации. Кроме того, логичным является использование результатов мониторинга в расчетных комплексах для корректировки расчетной схемы с целью установления более приближенных к реальным характеристикам рассматриваемого здания. В наше время практика использования результатов обследования и мониторинга при корректировке расчетных схем зданий и сооружений довольно широко распространена, однако степень автоматизации как процесса сбора данных, так и корректировки расчетной схемы находится на очень низком уровне. Эта проблема особенно актуальна при обследовании и последующей корректировке расчетной схемы зданий с большим количеством узлов, соединений и сварных швов в металлических конструкциях.

Ключевые слова: расчетный комплекс, учет дефектов, металлические конструкции, здания и сооружения.

Техническое состояние здания в целом является функцией работоспособности отдельных конструктивных элементов и связей между ними. Математическое описание процесса изменения технического состояния строительных конструкций здания, состоящих из большого числа элементов, представляет значительные трудности. Это обусловлено тем, что процесс изменения работоспособности технических устройств, которыми, в частности, являются здания и сооружения, характеризуется неопределённостью и случайностью.

Факторы, вызывающие изменения работоспособности здания в целом и отдельных его элементов, подразделяются на две группы: внутренние и внешние.

К внутренним факторам относятся:

- физико-химические процессы, протекающие в материалах конструкций;
- нагрузки и процессы, возникающие при эксплуатации;
- конструктивные;
- качество изготовления.

К внешним факторам относятся:

- климатические (температура, влажность, солнечная радиация);

- характер окружающей среды (ветер, пыль, биологические факторы);

- условия эксплуатации.

Достоверная оценка технического состояния конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, как показала многолетняя практика обследования, может быть выполнена, если в проверочных расчётах адекватно отражены результаты натурного освидетельствования конструкций.

В процессе эксплуатации зданий и сооружений их техническое состояние изменяется. Это выражается в ухудшении количественных характеристик работоспособности, в частности надёжности. Ухудшение технического состояния зданий происходит в результате изменения физических свойств материалов, характера сопряжений между элементами конструкций зданий, а также размеров и форм этих элементов.

Причиной изменения технического состояния зданий являются также разрушения и другие виды потери работоспособности конструктивных материалов.

Наибольшее число дефектов, отказов и аварий приходится на процесс строительства и на начальный период эксплуатации зданий и соору-

жений. Главные причины: недостаточное качество изделий, монтажа, осадка оснований, температурно-влажностные изменения и т.д.

Обследование технического состояния строительных конструкций является самостоятельным направлением строительной деятельности, охватывающим комплекс вопросов, связанных с обеспечением эксплуатационной надёжности зданий, с проведением ремонтно-восстановительных работ, а также с разработкой проектной документации по реконструкции зданий и сооружений.

Обследование зданий выполняется с целью установления их пригодности к нормальной эксплуатации или необходимости ремонта, восстановления, усиления или ограничений в эксплуатации, как отдельных конструкций, так и зданий в целом [1].

После возведения конструкций их надёжность должна поддерживаться на достаточном уровне путем правильной эксплуатации здания или сооружений, систематического наблюдения за состоянием конструкций и своевременным производством ремонта.

Каждая строительная авария является тяжёлым, чрезвычайным происшествием. Многие аварии сопровождаются человеческими жертвами. Вот лишь некоторые примеры:

- обрушение покрытия печного корпуса Куйбышевского цементного завода (г. Жигулевск) в 1959 г.;

- разрушение стальных конструкций покрытия машинного зала Северодвинской ТЭЦ в 1964 г. [2];

- частичное обрушение кровли ледового катка «Полус», 2009 г., Владивосток;

- обрушение стальной конструкции на одном из заводов концерна Рейн-Вестфальские Электростанции (РВЭ), Германия, Гревенброх, 2007 г. [12].

Вывод. Прибегая к помощи синергетического подхода к процессу гидратации и использования термодинамического метода выявляется возможность управления структурообразованием твердеющих систем и направлением его протекания. Так же данный подход разрешает собой проводить анализ состояния основных структурных элементов открытой метастабильной системы твердеющего многокомпонентного бетона. Выявить показатели полноты процессов в неравновесной системе с фиксацией нового состояния – от вязко-текучего до камневидного, т.е. переход к новому аттрактору. Эти определения четко поясняют механизм процесса гидратации и согласуются с положениями синергетики. Объектом дальнейших исследований представляется

вычисление роли каждого компонента многокомпонентной высокопрочной твердеющей системы на основе значений их термодинамических параметров с учетом синергетических представлений.



Рис. 1. Разрушение металлических конструкций ангара

Большинство аварий металлических конструкций зданий и сооружений можно предотвратить, организовав мероприятия по обследованию на стадии возведения и эксплуатации.

Состав работ по проведению обследований строительных конструкций зданий и сооружений, а также порядок их выполнения указаны в нормативной документации [11].

Поверочные расчеты, сопровождающие обследование металлических конструкций зданий и сооружений, выполняются согласно нормативной документации [5] как, например, в приложении 1 [4], где определяется фактическая несущая способность поперечных и главной продольной балки. Однако в наше время развития цифровых технологий расчеты все чаще проводятся в расчетных комплексах.

Очевидно, что такие расчеты необходимы для определения реального напряженно-деформированного состояния конструкции, однако в случае выявления большого числа дефектов в значительном количестве элементов конструкций (например в большепролетных металлических фермах или каркасах куполов) проведение расчетов как по СП [5], так и в расчетных комплексах становится чрезвычайно трудоемкой и ответственной задачей.

Анализ патентных материалов, отобранных в результате патентно-информационного поиска, показывает, что хорошо проработанными являются способы и методы мониторинга и обследования металлических конструкций. Вопрос, связанный с интеграцией результатов обследования и мониторинга в расчетные комплексы для уточнения напряженно-деформированного состояния конструкций, является малоизученным и имеет существенную научную новизну и актуальность. Ни в одной базе не было найдено патентов связанных с систематизацией результатов мониторинга/обследования металлических конструкций

зданий и сооружений и интеграции этих результатов в расчетные комплексы для уточнения реального напряженно-деформированного состояния конструкций, несмотря на то, что и в Российской Федерации и в других странах такой опыт имеется.

Поиск по иностранным патентным базам данных «Espacenet» [14] и «Questel Orbit» [15] и

по Российской патентной базе «ФИПС» [13] показал, что и в Российской Федерации, и за рубежом одинаковое внимание уделяется как способам определения напряженно-деформированного состояния конструкции, так и разработке приборов и оборудования для определения напряженно-деформированного состояния (табл. 1).

Таблица 1

**Некоторые результаты поиска патентов в части определения НДС конструкций.
Патентная база данных ФИПС**

Вид, страна, номер и приоритет охранного документа	Правообладатель	Наименование объекта интеллектуальной собственности
Описание изобретения к патенту Российская Федерация: Классификация RU2 442 113 C1 10.02.2012	Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа-Югры "Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий" (RU)	Способ и устройство определения нагруженности стержней пространственно-стержневых металлических конструкций
Описание полезной модели к патенту Российская Федерация: Классификация RU 169 803 U1 03.04.2017	Хуснутдинова Ильвина Гамировна (RU) (автор и патентообладатель)	Устройство для бесконтактного контроля напряженно-деформированного состояния и уровня поврежденности металлических конструкций
Описание изобретения к патенту Российская Федерация: Классификация RU 2 391 655 C2 10.06.2010	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирский государственный университет путей сообщения" (СГУПС) (RU)	Способ диагностирования металлических конструкций и устройство для его осуществления
Описание изобретения к патенту Российская Федерация: Классификация RU 2 523 073 C1 20.07.2014	Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (МИНПРОМТОРГ РОССИИ) (RU)	Устройство для определения механических напряжений на поверхности металлической конструкции путем введения фиксированного количества теплоты
Описание изобретения к патенту Российская Федерация: Классификация RU 2 610 821 C2 15.02.2017	Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации" (ФГУП "НИИСУ") (RU)	Способ оценки остаточного ресурса металлических деталей

Особенно стоит отметить патенты на темы:

1) Способ и устройство определения нагруженности стержней пространственно-стержневых металлических конструкций;

2) Устройство для бесконтактного контроля напряженно-деформированного состояния и уровня поврежденности металлических конструкций;

3) Steel construction stress-strain measurement's program-controlled static electric resistance strain gauge.

Большое число патентов выполнено на территории стран Китайской Народной Республики.

Наиболее активно анализируемые разработки проводились в период 2014–2017 г. Это

связано с развитием вычислительной техники и электроники.

В России не уделено должное внимание вопросам использования данных мониторинга/обследования металлических конструкций в расчетных комплексах для уточнения реального напряженно-деформированного состояния конструкции, однако с недавнего времени начали проводиться некоторые исследования. Из найденных работ особо стоит отметить диссертационные работы в этой области [6, 7].

Как в России, так и за границей, разработано большое количество расчетных комплексов, позволяющее довольно легко оценить напряженно-

деформированное состояние конструкций зданий и сооружений численными методами. Однако в этих комплексах слабо проработан вопрос учета дефектов, в частности в металлических конструкциях зданий и сооружений. К таким дефектам можно отнести [4]:

- ослабления сечений металлических конструкций из-за коррозии, возникновения трещин, технологических надразов;
- смещения элементов металлических конструкций относительно их проектного положения;
- недостаточные усилия затяжки болтов в болтовых соединениях металлических конструкций зданий и сооружений;
- дефекты в сварных соединениях металлических конструкций зданий и сооружений;
- общие и местные искривления элементов металлических конструкций зданий и сооружений.

В ходе мониторинга объективная оценка технического состояния зданий и сооружений может быть получена только на основании результатов численных расчетов с обоснованной корректировкой расчетных моделей объектов, учитывающей изменения, произошедшие в ходе эксплуатации.

Поверочный расчет конструкций с учетом влияния дефектов и повреждений выполняется с целью установления:

- возможности дальнейшей эксплуатации конструкций без каких-либо ограничений;
- необходимости немедленного прекращения эксплуатации в аварийной ситуации;
- возможности ограничений эксплуатации конструкций до плановых ремонтно-восстановительных работ;
- необходимости усиления конструкций;

Поверочные расчеты также выполняются при оценке технического состояния зданий и сооружений, подлежащих ремонту или реконструкции.

Поверочные расчеты конструкций (несущих элементов) необходимо выполнять по фактическим расчетным схемам и фактическим сечениям с учетом влияния обнаруженных дефектов и повреждений; по уточненным значениям расчетных сопротивлений материала и соединений, а также действующих нагрузок и их сочетаний.

Таким образом, при поверочном расчете сооружения должна использоваться адекватная его текущему техническому состоянию расчетная модель, построенная, как правило, на основе метода конечных элементов (КЭ-модель) и актуализируемая на основании результатов инструментальных измерений. Данная модель должна с контролируемой точностью позволять оценивать

фактическое техническое состояние сооружений на текущем этапе мониторинга. Однако, как показывает опыт, актуализация расчетных моделей либо не проводится, либо осуществляются вручную, что является длительным и трудоемким процессом [7]. Это обусловлено отсутствием как методов (правил) систематизации результатов обследования и мониторинга металлических конструкций зданий и сооружений, так и отсутствием методов автоматической корректировки конечно элементной модели.

В связи с вышеизложенным определена цель проводимого исследования: модернизация существующих научно-методологических основ, комплекса методов и средств систематизации результатов обследований и экспериментальных исследований возводимых и эксплуатируемых металлических конструкций зданий и сооружений, и разработка методики автоматизированной интеграции полученных результатов в расчетные комплексы.

Поставленная цель определяет задачи исследования:

1. Изучение отечественного и зарубежного опыта, а также современного уровня развития науки в рассматриваемой области.
2. Анализ состава и содержания комплекса обследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния на этапе строительства и эксплуатации металлических конструкций зданий и сооружений.
3. Исследование технологии проведения, методы и средства систематизации результатов экспериментальных исследований, обследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния, применяемых при строительстве и эксплуатации металлических конструкций зданий и сооружений.
4. Разработка методологических основ систематизации результатов экспериментальных исследований, обследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния при строительстве и эксплуатации металлических конструкций зданий и сооружений с целью приведения получаемых результатов к виду, позволяющему автоматизировать процесс учета дефектов при уточнении расчетной схемы металлических конструкций зданий и сооружений.
5. Разработка методологических основ автоматизированной интеграции результатов экспериментальных исследований, обследования и мониторинга напряженно-деформированного состояния металлических конструкций зданий и сооружений в расчетные комплексы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леденёв В.В., Ярцев В.П. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений. Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017 г. 252 с.
2. Беляев Б.И., Корниенко В.С. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. Москва: Издательство литературы по строительству, 1968 г. 126 с.
3. <https://lidersmsk.ru/articles/36/obsledovanie-stalnyih-konstruktsij/>
4. Технический отчет. Обследование строительных конструкций строения, расположенного по адресу: г. Москва, Бережковская набережная, д. 20. ОАО «ЦНИИПромзданий».
5. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81.
6. Коргин А.В. Научно-методологические основы и информационная технология автоматизации инженерных исследований при реконструкции сооружений: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 2005. 329 с.

7. Ермаков В.А. Методика актуализации расчетных моделей зданий и сооружений в ходе мониторинга их технического состояния: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2012. 171 с.

8. <https://www.scopus.com>

9. <http://apps.webofknowledge.com/>

10. <https://search.proquest.com/pqdtglobal/>

11. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения.

Правила обследования и мониторинга технического состояния».

12. Еремин К.И., Махутов Н.А., Павлова Г.А., Шишкина Н.А. Реестр аварий зданий и сооружений 2001 – 2010 годов. ООО «ВЕЛД», Москва, 2011 г. 318 с.

13. <http://www1.fips.ru>

14. <https://worldwide.espacenet.com>

15. <https://www.orbit.com/>

Информация об авторах

Синеев Антон Алексеевич, аспирант научно-образовательного центра «Испытания Сооружений». E-mail: sineevanton@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в августе 2018 г.

© Синеев А.А., 2018

^{1,*}Sineev A.A.

¹National research Moscow state University of civil engineering
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26

*E-mail: sineevanton@mail.ru

ON ACCOUNT OF THE STATE OF STEEL CONSTRUCTION DURING THE CALCULATIONS

Abstract. In the last few decades, the majority of human activity issues are solved with the use of data-processing system. The application of personal computers and specialized calculation complex in conjunction with databases of normative documents are used to secure the construction and an exploitation of buildings. It provides: to reduce the effort required to calculate the structures and the monitoring of the stress-strain condition; to apply unique solutions during design and construction. In most cases, performed calculations are abstract, they do not fully consider all impacts on erected or operated buildings and facilities, real characteristic of materials, defects and imperfections of structural elements. It is apparent that survey and monitoring of newly raised buildings in the process of construction and exploitation is required. In addition, it is logical to utilise monitoring results for a design scheme adjustment with an aim to establish more real characteristics of the building. In modern times, the use of survey and monitoring design schemes adjustment of buildings and structures is widespread, while the degree of automation of both the data collection process and the adjustment of the design scheme is kept low. This issue is acute in the survey and design scheme adjustment of buildings with a large number of components, joints and welds in metal structures.

Keywords: estimated complex, defect accounting, metal constructions, buildings and structures.

REFERENCES

1. Lednev V.V., Yarcev V.P. Inspection and monitoring of building structures. Tambov: TSTU. 2017, 252 p.

2. Belyaev B.I., Kornienko V.S. Causes of accidents of steel structures and ways to eliminate them. Moscow: Publishing house of literature on construction. 1968, 126 p.

3. <https://lidermsk.ru/articles/36/obsledovanie-stalnyih-konstruktsij/>
4. Technical report. Inspection of building structures of the building, located at: Moscow, Berezhkovskaya embankment, 20. PC «CNIIPZ»
5. SP 16.13330.2011 Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81.
6. Korgin A.V. Scientific and methodological basis and information technology of automation of engineering research in the reconstruction of buildings: thesis for the degree of doctor of technical Sciences. Moscow, 2005. 329 p.
7. Ermakov V.A. Methods of updating the design models of buildings and structures in the course of monitoring their technical condition: thesis for the degree of candidate of technical Sciences. Moscow, 2012. 171 p.
8. <https://www.scopus.com>
9. <http://apps.webofknowledge.com/>
10. <https://search.proquest.com/pqdtglobal/>
11. GOST 31937-2011 Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition.
12. Eremin K.I., Mahutov N.A., Pavlova G.A., Shishkina N.A. The register of accidents of buildings and constructions in 2001-2010. LLC «WELD», Moscow. 2011, 318 p.
13. <http://www1.fips.ru>
14. <https://worldwide.espacenet.com>
15. <https://www.orbit.com/>

Information about the author

Sineev, Anton A. Postgraduate student. E-mail: sineevanton@mail.ru. National research Moscow state University of civil engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Received in August 2018

Для цитирования:

Синеев А.А. Об учете состояния металлических конструкций при поверочных расчетах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 74–79. DOI: 10.12737/article_5bd95a755cd1e3.14923279

For citation:

Sineev A.A. On account of the state of steel construction during the calculations. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 74–79. DOI: 10.12737/article_5bd95a755cd1e3.14923279

DOI: 10.12737/article_5bd95a75d91e82.13177349

¹Аверкова О.А., ²Зайцев О.Н., ^{1,*}Крюков И.В., ¹Крюкова О.С., ¹Уваров В.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

²Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

Россия, Республика Крым, 295007, г. Симферополь, проспект академика Вернадского, д. 4

*E-mail: krukov.iv@bstu.ru; iliya.krukov@yandex.ru

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЙ В КОСМЕТОЛОГИЧЕСКИХ КАБИНЕТАХ

Аннотация. Воздух рабочей зоны маникюрных кабинетов характеризуется наличием таких вредных выделений как пыль и летучие соединения. Пыль образуется в ходе опиливания поверхности ногтей, а летучие соединения – в результате испарения различных химических веществ. Комплексное воздействие этих вредностей приводит к ухудшению самочувствия мастера маникюра, а также возможности развития профессиональных заболеваний. Для поддержания качества воздуха и удаления образуемых вредностей используются системы местной вытяжной вентиляции. Однако, при широком выборе имеющихся систем, эффективность некоторых из них встает под вопрос. В работе представлен аналитический обзор систем местной вытяжной вентиляции, которые используются в маникюрных кабинетах. Приведено сравнение эффективности их работы, а также достоинства и недостатки. Предложены рекомендации по совершенствованию основных элементов систем местной вытяжной вентиляции с целью повышения их эффективности.

Ключевые слова: местная вытяжная вентиляция, обеспыливающая вентиляция, ногтевая пыль, маникюрный кабинет.

Системы местной вытяжной вентиляции широко используются в различных отраслях производства как эффективные средства для удаления загрязняющих веществ, образующихся в ходе технологического процесса. Установка таких систем в помещениях с высоким содержанием вредных веществ, таких как аэрозоли и летучие вещества, необходима для поддержания качества воздуха рабочей зоны и снижения риска развития профессиональных заболеваний.

В помещениях маникюрных кабинетов, согласно проведенным исследованиям [1–5], наблюдается выделение большого количества пылевых аэрозолей и летучих веществ. При опиливании поверхности ногтей, в частности с гелевым или акриловым покрытием, образуется значительное количество вредной для здоровья человека пыли. Высокие концентрации пылевых аэрозолей при длительном воздействии на организм могут приводить к развитию у мастера маникюра профессиональных заболеваний. К примеру, акриловые составы содержат метакрилаты, вызывающие аллергические реакции [5]. Кроме образуемой пыли вредное воздействие оказывают различные летучие вещества, образуемые в результате испарения используемых веществ (ацетон, этилацетат и др.). В результате опиливания поверхности ногтей выделяется пыль различной крупности. Мелкие частицы пыли размером до 5 мкм, увлеченные воздушными потоками, разносятся по помещению и загрязняют воздух рабочей зоны помещения. Стоит отметить, что

данные частицы могут находиться во взвешенном состоянии продолжительное время [6, 7]. Воздействие пыли на организм мастера маникюра приводит к риску развития у него профессиональных заболеваний: аллергическая астма, ринит, кожные заболевания и т.д.

В требованиях СанПин 2.1.2.2631-10 "Санитарно-эпидемиологические требования к размещению, устройству, оборудованию, содержанию и режиму работы организаций коммунально-бытового назначения, оказывающих парикмахерские и косметические услуги" указано, что рабочее место мастера маникюра должно быть оборудовано местной вытяжной системой вентиляции. Данные системы направлены на удаление образуемых вредностей и поддержание чистоты воздуха рабочей зоны.

Научный и практический интерес представляет разработка системы местной вытяжной вентиляции для маникюрных кабинетов сниженной энергоемкости, которая при минимальной производительности могла бы обеспечить поддержание чистоты воздуха рабочей зоны и эффективно удалять образующиеся вредности. Такие системы необходимо использовать и в педикюрных кабинетах косметических и медицинских учреждений, где образование пылевых аэрозолей в ходе опиливания значительно выше.

Целью работы является аналитический обзор имеющихся систем местной вытяжной вентиляции для удаления пыли, используемых в маникюрных кабинетах.

Имеющиеся на сегодняшний день на рынке системы местной вытяжной вентиляции для маникюрных кабинетов можно разделить на следующие типы:

- настольные пылесосы;
- пылесосы встроенные в рабочий стол;
- отсосы-раструбы и вентиляционные зонты, расположенные над рабочим столом;
- комбинированные системы пылеудаления;
- вытяжные укрытия.

Рассмотрим подробно некоторые из этих систем и определим их плюсы и минусы.

Широкое распространение среди мастеров маникюра получили настольные пылесосы. Большой спрос на данные системы связан, в первую очередь, с их стоимостью – они дешевле имеющих аналогов. Наибольшую популярность приобрели настольные пылесосы представленные на рисунке 1 [8]. Имеющиеся на рынке модели настольных пылесосов такого типа не имеют друг от друга существенных отличий, поэтому подробно рассматривать каждую из моделей не имеет смысла.

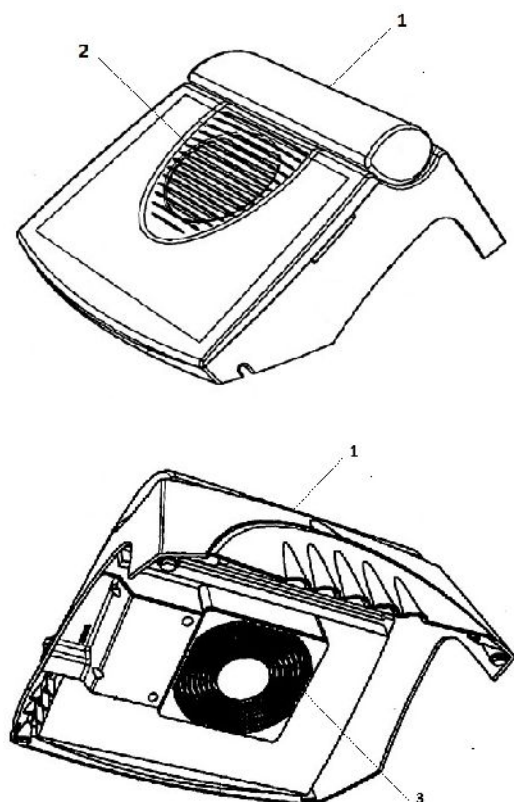


Рис. 1. Настольный маникюрный пылесос:
1 – корпус; 2 – решетка; 3 – вентилятор

Настольный пылесос состоит из корпуса 1, вентиляционной решетки 2, вытяжного вентилятора 3 и пылесборника (не показан). Корпус 1 маникюрного пылесоса выполняет функцию подставки для рук, а вентиляционная решетка 2 на

передней панели защищает руки клиента от вращающихся лопастей вытяжного вентилятора 3. Пылесборник (не показан) представляет собой мешок по типу тех, которые используются в бытовых пылесосах. Простота конструкции делает данное устройство компактным и удобным в использовании. Однако, недостатком такого пылесоса является его низкая эффективность, связанная в первую очередь с тем, что из-за невысокой производительности вентилятора образуемая пыль не засасывается, а оседает на руках мастера и клиента или разносится над поверхностью рабочего стола загрязняя собой воздух. Другим недостатком такой системы является выбивание пыли из пылесборника, особенно мелких частиц.

Некоторые производители таких маникюрных пылесосов увеличивают производительность вентилятора (имеются модели производительностью до 400 м³/ч), тем самым увеличивая эффективность всасывания, но это, как следствие, приводит к увеличению энергозатрат на его работу.

Имеется также конструкция настольного маникюрного пылесоса, представленная на рисунке 2.

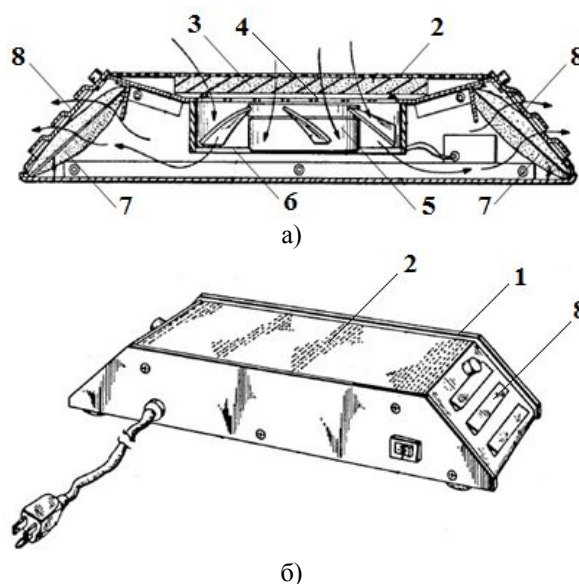


Рис. 2. Настольный маникюрный пылесос [9]:
а) схема устройства; б) внешний вид устройства

Маникюрный пылесос состоит из корпуса 1, решетки 2, фильтра первой ступени очистки 3, перфорированной секции 4, вентилятора 5, расположенного в специальной камере 6, фильтра второй ступени очистки 7, отверстий для выхода воздуха 8. Решетка 2 располагается на верхней части корпуса устройства 1 и служит для удобства размещения рук посетителя, а также удаления запыленного воздуха. После решетки 2 запыленный воздух проходит через фильтр первой ступени очистки 3 и попадает в камеру 6 с вентилятором 5 через перфорированную секцию 4. Из

камеры 6 воздух проходит через фильтр второй ступени очистки 7 и выбрасывается наружу через жалюзийные отверстия 8, расположенные на корпусе устройства. Преимуществом данной системы по сравнению с ранее рассмотренной является наличие системы фильтров, благодаря которым воздух очищается от пыли и подается обратно в помещение. Недостатком устройства при низкой производительности вентилятора является неэффективное пылеудаление.

Похожими по принципу действия являются вытяжные системы, встроенные в маникюрный стол [10]. Основными элементами таких систем являются фильтр 6, вентилятор 5, воздуховод 3, пылесборник 4, всасывающее отверстие 2, расположенное на поверхности рабочего стола 1 (рис. 3). Запыленный воздух всасывается через отверстие 2 и движется по воздуховоду 3 в пылесборник 4, в котором оседают частицы пыли. Далее воздух проходит через фильтр 6 и уже очищенный от пылевых аэрозолей возвращается в помещение.

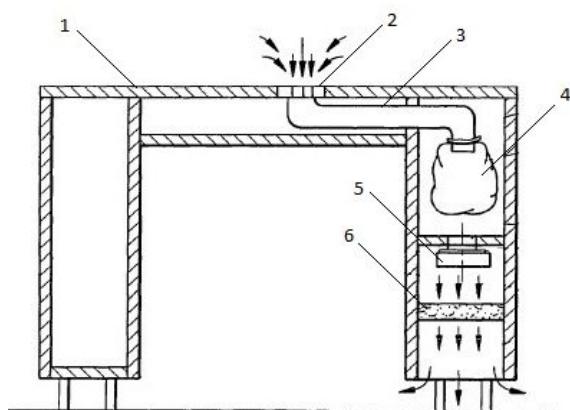


Рис. 3. Маникюрный стол со встроенной вытяжной вентиляцией: 1 – рабочая поверхность стола; 2 – вытяжное отверстие; 3 – воздуховод; 4 – пылесборник; 5 – вентилятор; 6 – фильтр

Имеется также конструкция (рис. 4), состоящая из маникюрного стола 1, рабочей поверхности 2, решетки 3, встраиваемого маникюрного пылесоса 4. Стоит отметить, что встраиваемый маникюрный пылесос 4 не имеет воздуховода, т.к. компактная конструкция позволяет разместить его под рабочей поверхностью 2 маникюрного стола 1. В этом случае пылесборник (не показан) размещается сразу за маникюрным пылесосом 4. Через решетку 3 запыленный воздух поступает в полость маникюрного пылесоса 4, а из него в пылесборник (не показан). Посетитель располагает руки на поверхности решетки 3 и мастер проводит процедуру опиливания. Недостатки данной системы такие же как и у настоль-

ных пылесосов, за исключением того, что отсутствует выбивание пыли над поверхностью рабочего стола, т.к. пылесборник обычно скрыт под столом или в специальной секции маникюрного стола.

На рисунке 5 представлена настольная версия разработки [11]. Устройство состоит из маникюрного стола 1, рабочей поверхности 2, вытяжного устройства 3, воздуховода 4, пылесоса 5. Конструкция вытяжного устройства 3 позволяет удобно располагать руки посетителя на его поверхности при этом вытяжка запыленного воздуха осуществляется со стороны мастера маникюра.

Еще одним типом маникюрного стола со встроенной вытяжкой является разработка, показанная на рисунке 6. Данная система [12] содержит так называемые очистители воздуха 3, которые поддерживают горизонтальную рабочую поверхность 1, на внутренней части очистителей 3 установлены вытяжные решетки 2 с фильтрами, а на внешней – вентиляторы 5. Загрязненный воздух удаляется через решетки 2, очищается от пыли и по воздуховоду 4 вентилятором 5 выбрасывается обратно в помещение.

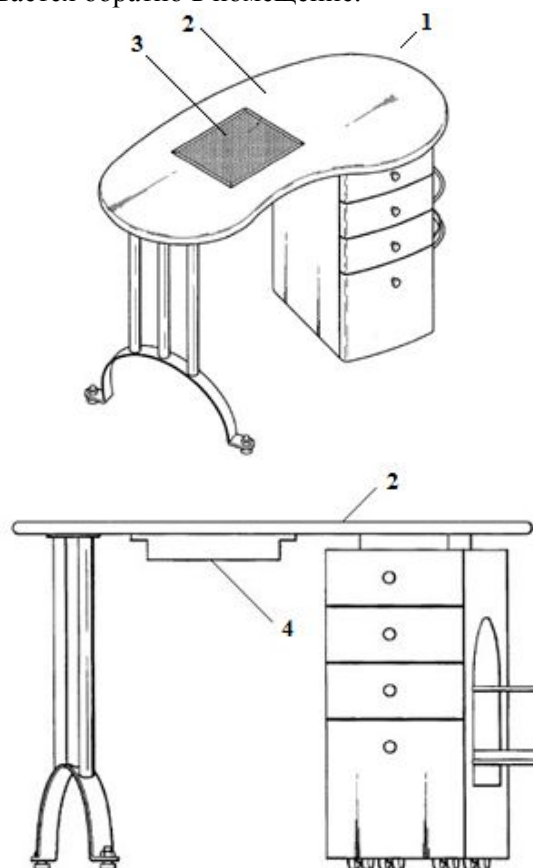


Рис. 4. Маникюрный стол со встроенной вытяжкой [11]: 1 – маникюрный стол; 2 – рабочая поверхность стола; 3 – решетка; 4 – вытяжной вентилятор

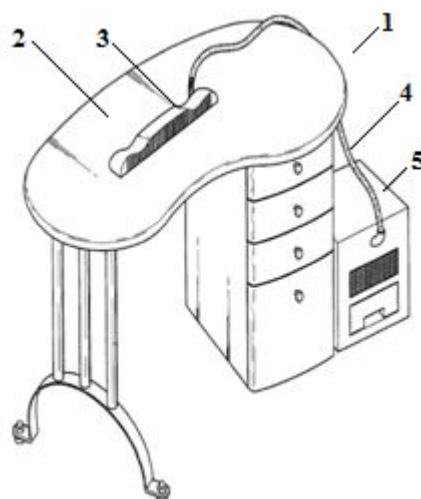


Рис. 5. Настольная вытяжка:

1 – маникюрный стол; 2 – рабочая поверхность; 3 – вытяжное устройство; 4 – воздуховод; 5 – пылесос

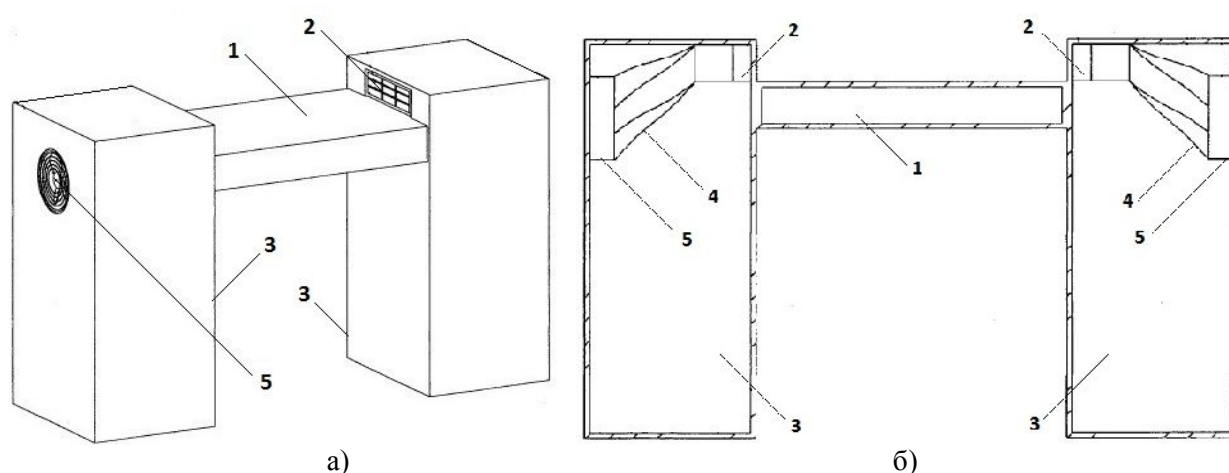


Рис. 6. Встроенная система пылеудаления

а) общий вид; б) вид в разрезе: 1 – рабочая поверхность стола; 2 – вытяжная решетка; 3 – очистители воздуха; 4 – воздуховод; 5 – вытяжной вентилятор

Третья категория систем вытяжной вентиляции маникюрных кабинетов - отсосы-раструбы, устанавливаемые над поверхностью рабочего стола. Преимущество таких систем заключается в том, что они имеют побудители тяги высокой производительности, по сравнению с ранее рассмотренными маникюрными пылесосами и встроенными вытяжками, что позволяет более эффективно бороться с попаданием пыли в воздух помещения. Компактное исполнение и размещение имеет разработка [13] (рис. 7).

Запыленный воздух поступает в вытяжной патрубок 2, а далее по воздуховоду 3 в пылесос 4. В полости вытяжного патрубка 2 располагается источник света, необходимый для дополнительного освещения рабочей поверхности стола 1.

Недостатком устройства является то, что вытяжной патрубок, по сути, является абажуром, к которому подключен воздуховод, а всасывающее сечение, в зависимости от источника освещения,

может иметь форму круга или кольца. Таким образом сказать об эффективности всасывания запыленного воздуха таким вытяжным патрубком достаточно сложно.

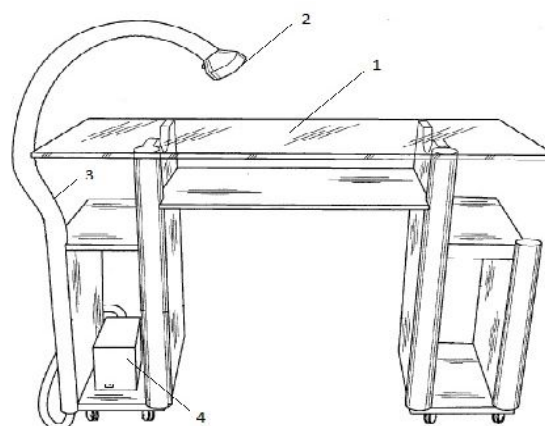


Рис. 7. Маникюрный стол с вытяжкой:

1 – рабочая поверхность стола; 2 – вытяжной патрубок; 3 – воздуховод; 4 – пылесос

Широкое распространение среди систем такого типа получила разработка, представленная на рис. 8.

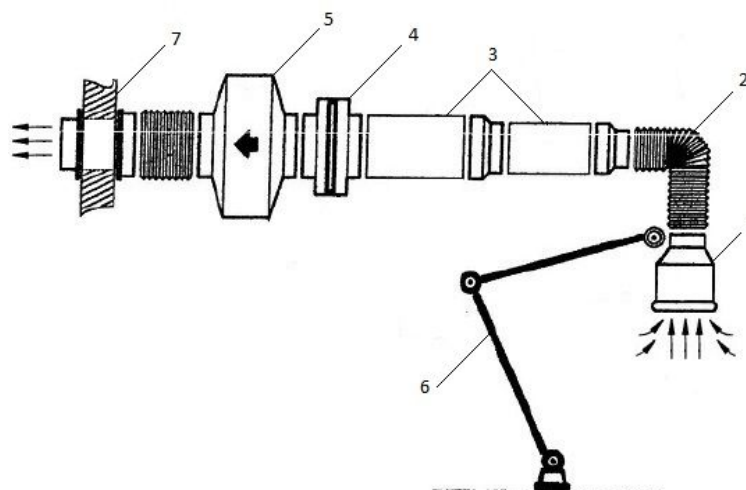


Рис. 8. Настольная система вытяжной вентиляции [14]:

1 – всасывающий патрубок; 2 – гибкий воздуховод; 3 – воздуховод; 4 – фильтр; 5 – вентилятор; 6 – держатель; 7 – стена

Образуемая входе опиливания пыль удаляется всасывающим патрубком 1 и по воздуховодам 2 и 3, проходя через фильтр 4, удаляется вентилятором 5. Недостатком данной системы является отсутствие ее мобильности и затраты на установку.

Имеются и мобильные версии данной системы (рис. 9), в которых вентилятор и фильтр располагаются в специальном коробе, расположенном возле рабочего стола мастера.

Высокая эффективность пылеудаления таких систем (по словам разработчиков составляет 80–90 %) обусловлена высокой производительностью вентилятора 1000–1500 м³/ч. Однако недостатком такой системы, несмотря на ее эффективность, является высокая стоимость и шум, возникающий в процессе работы.



Рис. 9. Мобильная версия вытяжной установки:

1 – вытяжной патрубок; 2 – гибкий воздуховод; 3 – воздуховод; 4 – шкаф с вытяжным вентилятором; 5 – держатель

Особое внимание стоит уделить системе с комбинированным использованием вытяжки

(рис. 10), встроенной в рабочий стол и вытяжного патрубка, расположенного над рабочей поверхностью стола [15]. Данная система обладает широким спектром всасывания – крупные частицы пыли всасываются встроенной в рабочий стол вытяжкой, а мелкие – настольной. Т.к. система имеет один вытяжной вентилятор необходимо учитывать расходы удаляемого воздуха для каждого всасывающего устройства, иначе эффективность от пылеудаления будет низкой.

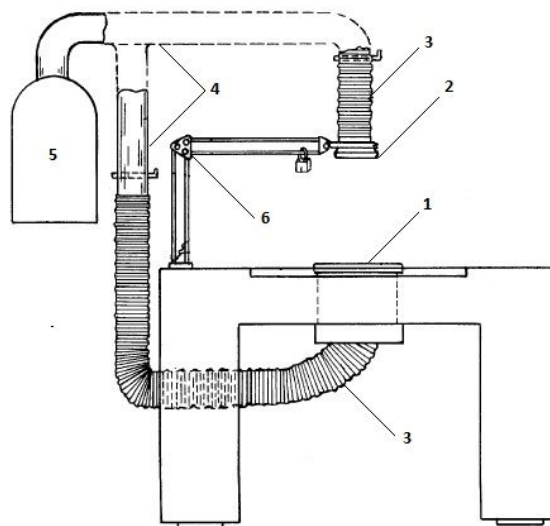


Рис. 10. Комбинированная система пылеудаления:

1 – всасывающая поверхность; 2 – всасывающий патрубок; 3 – гибкий воздуховод; 4 – воздуховод; 5 – пылесос; 6 – держатель

Еще одним видом пылеулавливающих устройств являются укрытия со встроенной вытяжной системой [16, 17]. Эффективность и преимущество таких систем по сравнению с ранее рассмотренными видами устройств является воз-

можность полной локализации источника пылеобразования с последующим удалением пыли. Таким образом исключается вероятность попадания пыли в дыхательную систему, а также снижается уровень воздействия паров от используемых средств, т.к. все процедуры выполняются в полости укрытия. Похожие конструкции имеют аспи-

рационные укрытия, которые успешно используются на производственных предприятиях, где концентрации пылевых выделений в разы выше. Эффективность использования таких систем рассмотрена и доказана в работах [18–21].

Конструктивные особенности таких систем представлены на рисунке 10.

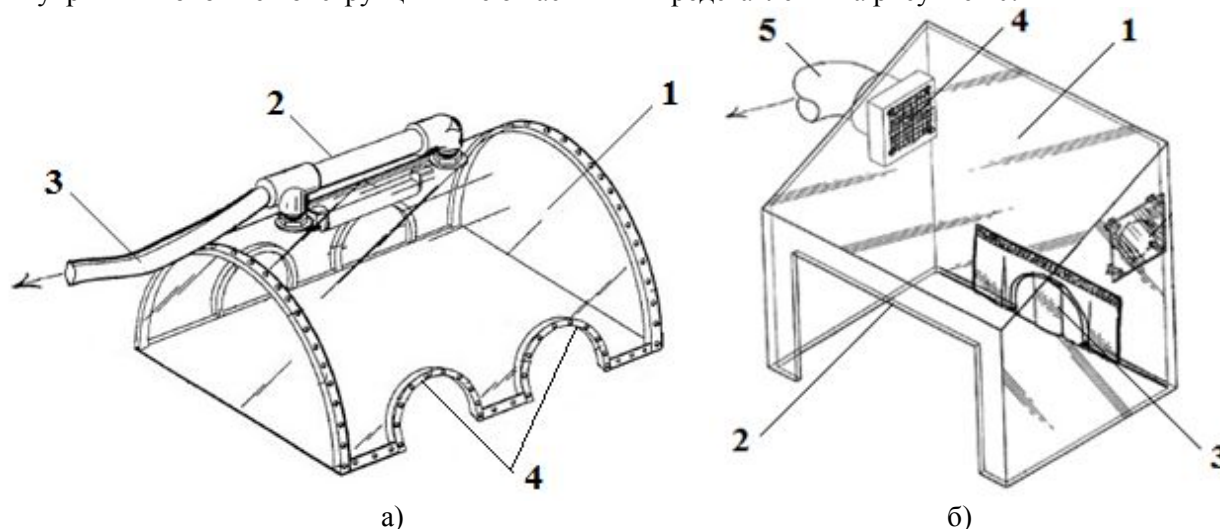


Рис. 11. Вытяжные укрытия для маникюра: а) US005336128A; б) US 2001/0023172 A1

Преимуществами системы (рис. 11 а) является полная локализация места пылеобразования укрытием 1, сделанного из прозрачного материала, со встроенным вытяжным патрубком 3. Вытяжка 2 создает в полости укрытия разрежение за счет чего происходит удаление запыленного воздуха, а также подсасывание воздуха через отверстия для рук посетителя 2. Недостатком устройства является возможность налипания мелких частиц пыли на внутреннюю поверхность укрытия, снижая тем самым видимость для мастера маникюра. Кроме этого данное устройство выглядит громоздким и неудобным в использовании. Похожую конструкцию имеет устройство (рис. 11

б), состоящее из укрытия 1, отверстие для рук мастера 2, отверстие для рук посетителя 3 с уплотнителями, вытяжного отверстия 4 и воздуховода 5. Воздух подсасывается через отверстие 2 и вовлекая в движение образуемый пылевой поток удаляется вентиляционной вытяжкой 4.

Для маникюрных кабинетов, в которых расположено несколько рабочих столов (рис. 12) предлагается использование централизованной системы вытяжной вентиляции [22]. Недостатком представленной системы является возможность удаления только паров. Для удаления пылевых аэрозолей данная система неэффективна, т.к. вытяжной патрубок имеет неудобное расположение.

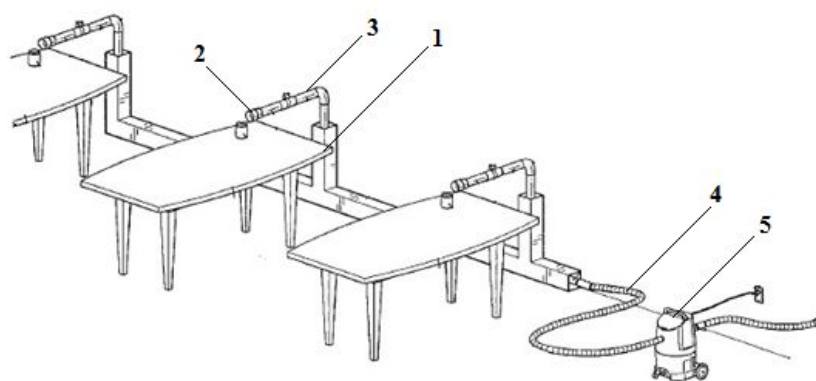


Рис. 12. Вытяжная система для нескольких маникюрных столов:

1 – маникюрный стол; 2 – вытяжной патрубок; 3 – воздуховод; 4 – гибкий воздуховод; 5 – пылесос

Отечественные разработки вентиляционных систем для маникюрных кабинетов представ-

ляют собой аналоги зарубежных разработок, однако данные модели являются по большей части кустарным производством и их эффективность в

пылеулавливании обычно обусловлена высоким расходом удаляемого воздуха, что негативно сказывается на энергосберегающей особенности устройства.

Проведя анализ имеющихся на рынке маникюрных пылесосов и вентиляционных систем основным показателем эффективности служит производительность вытяжного вентилятора, а также расположения вытяжного патрубка (устройства) относительно источника пылеобразования. Для создания эффективной системы необходимо разработать такую конструкцию, которая при минимальных энергетических затратах (низкий расход удаляемого воздуха) удаляла бы

образуемую пыль. Одним из направлений совершенствования вентиляционных систем является профилирование вытяжного патрубка, путем изменения его геометрических характеристик, которые способны повлиять на скорость всасывания воздуха при минимальном расходе воздуха, а также уменьшить области образования вихрей, которые увеличивают аэродинамическое сопротивление патрубка.

Для этого можно использовать конструкцию представленную на рисунке 13. Конструкция устройства не имеет существенных отличий от ранее рассмотренных систем такого типа, однако совершенствование определенных элементов позволит добиться желаемых результатов.

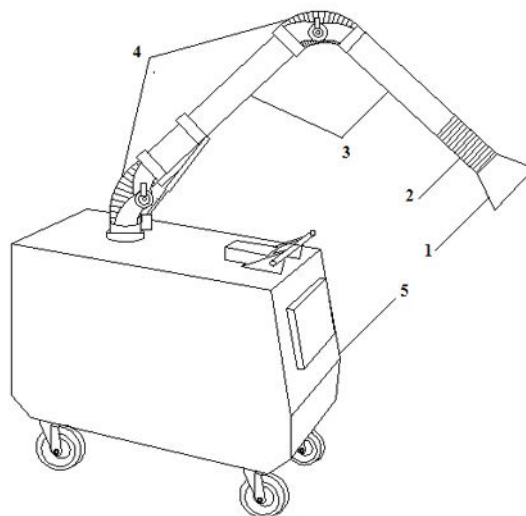


Рис. 13. Предлагаемая конструкция маникюрной вытяжки:

1 – профилированный вытяжной патрубок; 2 – гибкая гофрированная вставка; 3 – воздуховод;
4 – гибкий воздуховод; 5 – пылесос

Конструкция вытяжки состоит из профилированного патрубка 1, гибкой вставки 2, которая позволяет регулировать положение патрубка 1 в горизонтальной и вертикальной плоскостях, воздуховода 3, гибкого воздуховода 4, который дает возможность регулировать высоту положения патрубка, пылесоса 5, включающего в себя вентилятор и систему фильтров для очистки загрязненного воздуха от пыли и летучих соединений. Данное устройство можно использовать не только при процедуре маникюра, но и педикюра.

Дальнейшим направлением исследований является:

- определение необходимой скорости эффективного захвата пылевых частиц в месте образования пылевых частиц;
- снижение коэффициента местного сопротивления местного отсоса и шума, возникающего в вихревых зонах;
- определение границ профилирования и разработка технологии изготовления профилированных отсосов;

– исследование распределения скоростей воздуха вблизи профилированного местного отсоса и расчет необходимой производительности системы вытяжной вентиляции.

Источник финансирования. Грант Российского научного фонда (проект №18-79-10025).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Goldin L.J., Ansher L., Berlin A. et al. Indoor air quality survey of nail salons in Boston // Journal of Immigrant and Minority Health. 2014. Vol. 16, Issue 3, pp. 508–514.
2. Roelofs C, Do T. Exposure assessment in nail salons: an indoor air approach. International Scholarly Research Network Public Health. 2012. Vol. 2012. pp 1–7.
3. Alexandra Tsigonia, Argyro Lagoudi, Stavroula Chandrinou et al. Indoor Air in Beauty Salons and Occupational Health Exposure of Cosmetologists to Chemical Substances. Int. J. Environ.

Res. Public Health 2010. Vol. 7. Pp. 314-324; doi:10.3390/ijerph7010314.

4. Аверкова О.А., Крюков И.В., Крюкова О.С. К вопросу о размещении систем местной вытяжной вентиляции в помещениях с высоким содержанием пыли // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №4. С. 50–55.

5. Hiipakka D, Samimi B. Exposure of acrylic fingernail sculptors to organic vapors and methacrylate dusts. Am IndHygAssoc J., 1987, 48, 230–7.

6. Purkiss R. An assessment of the airborne dust in podiatric treatment areas, and its relevance to the use of respiratory protective equipment // Brit Pod Med. 1997. Vol. 52. Pp. 129–136.

7. Abramson C., Wilton J. Inhalation of nail dust from onychomycotic toenails. Part 1. Characterization of particles // Am Podiatr Med Assoc. 1992. Vol. 75. Pp. 563–567.

8. EP 1 707 071 A1. Kombinierte Armauflage-/Staubabsaugeinrichtung.

9. US 005139546A Nail vapor and dust collection and treatment device.

10. US 008430940B2 Vacuum system for nail salon work station.

11. US 006698360B2 Nail caring table having vacuum purifier.

12. US 2008/0216647 A1 Salon air purification system.

13. US 2012/0045981 A1 Nail salon workstation.

14. UA 56365 Настільна система витяжної вентиляції.

15. US006444002B1 Nail salon air purification system.

16. US 005336128A Nail technician's ventilator.

17. US 2001/0023172 A1 Nail technician ventilation system.

18. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. Спб: Химиздат, 2005. 659 с.

19. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации. М.: РХД, 2013. 504 с.

20. Аверкова О.А., Логачев К.И., Логачев И.Н., Крюков И.В. Междисциплинарные задачи локализации пылегазовых выбросов // Сб. докладов: Региональной научно-технической конференции по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого РФФИ и правительством Белгородской области, Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. С. 1–17.

21. Логачев А.К., Крюков И.В., Попов Е.Н., Семенов А.С., Крюкова О.С. Математическое моделирование процессов аспирации и разработка научных основ создания энергоэффективных систем локализации пылегазовых выделений // Сб. докладов: Региональной научно-технической конференции по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого РФФИ и правительством Белгородской области, Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 170–179.

22. US 2009/0081936A1 Salon ventilation system.

Информация об авторах

Аверкова Ольга Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: olga_19572004@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Зайцев Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: zon071941@mail.ru. Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, архитектурно-строительная академия. Россия, Республика Крым, 295007, г. Симферополь, проспект академика Вернадского, д. 4.

Крюков Илья Валерьевич, кандидат технических наук, начальник отдела организации НИР студентов. E-mail: iliya.krakov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уваров Валерий Анатольевич, доктор технических наук, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: v_a_uvarov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюкова Ольга Сергеевна, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: iliya.krakov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в августе 2018 г.

© Аверкова О.А., Зайцев О.Н., Крюков И.В., Уваров В.А., Крюкова О.С., 2018

¹Averkova O.A., ²Zaycev O.N., ^{1,*}Kryukov I.V., ¹Uvarov V.A., ¹Kryukova O.S.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²Crimean federal university V.I. Vernadsky

Russia, Republic of Crimea, 295007, Simferopol, Prospekt Vernadskogo, 4

*E-mail: krukov.iv@bstu.ru; iliya.krukov@yandex.ru

METHODS AND MEANS OF LOCALIZATION OF DUST DIVISIONS IN COSMETOLOGICAL CABINETS

Abstract. The working area in manicure rooms is characterized by harmful emissions such as dust and volatile compounds. Dust occurs during nails filling; volatile compounds is formed in result of chemicals evaporation. The impact of examined hazards leads to a deterioration of a manicure master's health, along with occurrence of occupational illness. The local exhaust ventilation systems are used to maintain an air quality and to remove the produced hazards. Simultaneously, efficiency of some systems is questionable. The paper presents an analytical review of local exhaust ventilation systems employed in the manicure cabinets. The systems' effectiveness, advantages and disadvantages are compared. Recommendations for improving the basic elements of local exhaust ventilation systems are suggested in order to increase the effectiveness.

Keywords: local exhaust ventilation, dedusting system, nail dust, nail salon.

REFERENCES

1. Goldin L.J., L. Ansher, A. Berlin et al. Indoor air quality survey of nail salons in Boston. Journal of Immigrant and Minority Health, 2014, vol. 16. Issue 3, pp. 508–514.
2. Roelofs C., Do T. Exposure assessment in nail salons: an indoor air approach. International Scholarly Research Network Public Health, 2012, vol. 2012, pp. 1–7.
3. Alexandra Tsigonia, Argyro Lagoudi, Stavroula Chandrinou et al. Indoor Air in Beauty Salons and Occupational Health Exposure of Cosmetologists to Chemical Substances. Environ. Res. Public Health, 2010, vol. 7, pp. 314–324. doi:10.3390/ijerph7010314.
4. Averkova O.A., Kryukov I.V., Kryukova O.S. To the question of the placement of local exhaust ventilation systems in rooms with high dust content. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no.4. C. 50–55.
5. Hiipakka D, Samimi B. Exposure of acrylic fingernail sculptors to organic vapors and methacrylate dusts. American Industrial Hygiene Association Journal, 1987. Vol. 48. Issue 3. Pp. 230–237.
6. Purkiss R: An assessment of the airborne dust in podiatric treatment areas, and its relevance to the use of respiratory protective equipment. Brit Pod Med, 1997, vol. 52. Pp. 129–136.
7. Abramson C., Wilton J. Inhalation of nail dust from onychomycotic toenails. Part 1. Characterization of particles. Am Podiatr Med Assoc. 1992, vol. 75. Pp. 563–567.
8. EP 1 707 071 A1. Kombinierte Armauflage-/Staubabsaugeinrichtung.
9. US 005139546A Nail wapor and dust collection and treatment device.
10. US 008430940B2 Vacuum system for nail salon work station.
11. US 00669836OB2 Nail caring table having vacuum purifier.
12. US 2008/0216647 A1 Salon air purification system.
13. US 2012/0045981 A1 Nail salon workstation.
14. UA 56365 Настільна система витяжної вентиляції.
15. US 006444002B1 Nail salon air purification system.
16. US 005336128A Nail technician's ventilator.
17. US 2001/0023172 A1 Nail technician ventilation system.
18. Logachev I.N., Logachev K.I. Aerodynamic basics of aspiration. Sankt-Peterburg: Himizdat. 2005, 659 p.
19. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Energy saving in aspiration. Moscow: RHD. 2013, 504 p.
20. Averkova O.A., Logachev K.I., Logachev I.N., Kryukov I.V. Interdisciplinary tasks of localization of dust and gas emissions. Collection of reports: Regional scientific and technical conference on the results of oriented fundamental research on interdisciplinary topics, conducted by the RFBR and the government of the Belgorod region, Belgorod: Publishing house BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, pp. 1–17.
21. Logachev A.K., Kryukov I.V., Popov E.N., Seminenko A.S., Kryukova O.S. Mathematical modeling of aspiration processes and development of scientific foundations for the creation of energy-efficient systems for the localization of dust and gas emissions. Collection of reports: Regional scientific and technical conference on the results of oriented

fundamental research on interdisciplinary topics, conducted by the RFBR and the government of the Belgorod region, Belgorod: Publishing house BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, pp 170–179.

22. US 2009/0081936A1 Salon ventilation system.

Information about the author

Averkova, Olga A. PhD, Professor. E-mail: olga_19572004@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Zaycev, Oleg N. PhD, Professor. E-mail: zon071941@mail.ru. Crimean federal university V.I. Vernadsky, Russia, Republic of Crimea, 295007, Simferopol, Prospekt Vernadskogo, 4.

Kryukov, Ilya V. PhD. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uvarov, Valeriy A. PhD, Professor. E-mail: v_a_uvarov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kryukova, Olga S. Postgraduate student. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in August 2018

Для цитирования:

Аверкова О.А., Зайцев О.Н., Крюков И.В., Уваров В.А., Крюкова О.С. Способы и средства локализации пылевыведений в косметологических кабинетах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 80–89. DOI: 10.12737/article_5bd95a75d91e82.13177349

For citation:

Averkova O.A., Zaycev O.N., Kryukov I.V., Uvarov V.A., Kryukova O.S. Methods of dust localization in cosmetological cabinets. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 80–89. DOI: 10.12737/article_5bd95a75d91e82.13177349

DOI: 10.12737/article_5bd95a7656a8f9.11998830

^{1,*}Перькова М.В., ²Вайтенс А.Г., ¹Лебедева Ю.Д.¹Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. Егорова, 5

*E-mail: perkova.mv@bstu.ru; perkova.margo@mail.ru

МЕТОД СОЦИАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ ПРИДОМОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Аннотация. В рамках развития конфликтологического подхода в исследовании предлагается метод адаптации придомовых территорий многоквартирных жилых домов как поиск компромисса между участниками градостроительной деятельности в жилой застройке. Предложен инструментарий градостроительной конфликтологии в отношении придомовой территории (моделирование структуры градостроительного конфликта для придомовых территорий). Разработана модель потенциальных участников архитектурно-градостроительной деятельности на придомовой территории, которая позволяет учесть их интересы и ценности (собственники квартир, собственники бизнеса, муниципальные власти, застройщик, подрядчик, общественность). Собственники квартир тоже имеют различные интересы относительно придомового земельного участка (автомобилисты, велосипедисты, маломобильные группы населения, жители с детьми, любители тихого и активного отдыха, владельцы домашних животных). Разработан алгоритм, который раскрывает последовательность выявления и урегулирования градостроительного конфликта, ведет к увеличению роли горожанина в городском планировании и позволяет адаптировать территории земельных участков к потребностям современного населения.

Ключевые слова: градостроительный конфликт, жилая застройка, придомовая территория, метод, моделирование.

Социальная адаптация придомовых территорий многоквартирных жилых домов обусловлена потребностью в качественной городской среде в непосредственной близости к жилищу, необходимостью возвращения двору его первоначальной функции – общественного пространства для проведения досуга жильцов. Улучшение качества среды в пешеходной доступности от жилых районов снижает нагрузку на транспортную систему города, повышает привлекательность территории. Это увеличивает безопасность района и приводит к укреплению социальных связей между жителями, созданию местных сообществ. Когда горожане проводят больше времени на улицах своего района, они начинают ассоциировать себя с ним, повышается уровень ответственности за территорию – люди начинают участвовать в жизни района и города в целом.

Под социальной адаптацией территории понимается комплекс мероприятий, направленный на активное приспособление территории к современным условиям социальной среды: потребностям и интересам всех пользователей территории, гетерогенности структуры развивающегося общества. Мероприятия по социальной адаптации направлены на повышение качества жилой среды и рост уровня жизни местных жителей.

Актуальность данной темы в г. Белгороде обусловлена повышением интереса городских

властей к реконструкции придомовых территорий. В начале 2016 г. департаментом городского хозяйства была разработана муниципальная программа «Двор, удобный для жизни». В 2018 году в рамках приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды» в Белгороде действует программа «Формирование современной городской среды городского округа «Город Белгород» на 2018–2022 годы». Таким образом, благоустройство дворовых территорий многоквартирных домов является приоритетным проектом в развитии города. Для реализации поставленных задач необходимо комплексное исследование сложившейся на придомовых территориях ситуации с разработкой метода их социальной адаптации, так как зачастую дворовые пространства многоквартирных жилых домов не отвечают современным запросам потребителя, не учитывают различные интересы городского сообщества.

Теоретическую базу при разработке метода составили труды, посвященные изучению роли комфортной городской среды в жизни горожан (Дж. Джейкобс, Л. Вирт, Р.Э. Парк); работы советских и российских архитекторов о влиянии системы проектирования и застройки на качество городской среды и содержащие стратегии по реорганизации среды при сложившейся квартальной и микрорайонной застройке (Глазычев В. Л.,

Крашенинников А. В., Меерович М.Г., Сосновский В.А., Федченко И.Г., Васильев О.В. и др.); включающие юридическую составляющую проблемы организации придомовых территорий (Савин Д.С., Кушнеров С.Н., Шепелев Н.П., Михайлова Е.Д., Журавлева Е.); труды, посвященные изучению науки конфликтологии и ее роли в городском планировании (Фрейдин Е.О., Светлов В.А., Цой Л.Н., Байнова М.С., J.Forester, Большаков А.Г.); исследования по культурологии, социологии, антропологии, занимающиеся вопросами развития городской среды и роли горожанина в архитектурно градостроительной деятельности (Куренной В., Новиков А., Шульман Е., Григорян Ю., Юдин Г.).

Рассмотрен российский и зарубежный опыт организации и благоустройства придомовых территорий на примере района Квиллебекен в г. Гетеборге, Швеция; района Марцан-Хеллерсдорф в г. Берлин, Германия; района Бунинские луга в г. Москва, Россия; района Суходольский квартал в г. Екатеринбург, Россия. В каждом районе было изучено архитектурно-планировочное решение, пешеходно-транспортная инфраструктура и функциональное зонирование придомовой территории. В результате изучения были выделены следующие критерии организации качественной жилой среды: соразмерный человеку масштаб, малый размер планировочной единицы, квартальная застройка, средняя этажность застройки, разнообразие архитектурно-планировочных решений, выраженное разделение на частное и общественное пространство, максимальная пешеходная доступность, безбарьерная пешеходная среда, плотная сеть улиц, устойчивое транспортное развитие, разнообразие функционального наполнения. На основе изучения зарубежного и российского опыта организации и благоустройства придомовых территорий принято решение о целесообразности использования конфликтологического подхода при решении проблем организации придомовых территорий, так как в условиях рыночной экономики существуют множество участников градостроительной деятельности и жителей с различными интересами и потребностями [7, 8]. Это позволит разработать алгоритм, который раскрывает последовательность выявления и урегулирования градостроительного конфликта, ведет к увеличению роли горожанина в городском планировании и позволяет адаптировать территории земельных участков к потребностям современного населения.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в разработке универсального метода социальной адаптации придомовых территорий многоквартирных жилых домов на основе анализа и разрешения существующих

градостроительных конфликтов и разработки оптимальных мероприятий улучшения качества придомовых территорий и увеличению роли населения в процессе принятия градостроительных решений, который может быть использован в любом регионе России.

В конце XIX – начале XX вв. в рамках науки социологии благодаря работам немецких ученых Макса Вебера и Георга Зиммеля зарождается общая концепция социального конфликта, которая доказывает, что конфликты являются неотъемлемой частью социальной жизни. К середине XX в. исследования закономерностей возникновения, развития и разрешения конфликтов приводят к формированию новой научной дисциплины – конфликтологии. Конфликтология – комплексная междисциплинарная наука о закономерностях возникновения, развития, завершения конфликтов, а также принципах, способах и приемах их конструктивного регулирования [1]. В подходе В.А. Светлова, конфликт определяется как разновидность структурного дисбаланса системы, при котором система не может исполнить своей основной функции [10]. Данные, проанализированные А.Я. Анцуповым и А.И. Шипиловым в труде «Конфликтология» показывают, что проблема конфликта носит выраженный междисциплинарный характер. А.Я. Анцупов и А.И. Шипилов утверждают, что при формировании научной базы конфликтологии используются знания о конфликте, накопленные в рамках одиннадцати наук, фактически являющихся отраслями конфликтологии. В порядке опубликования работ по проблеме конфликта выделяются следующие научные отрасли: военные, политические, исторические науки, педагогика, философия, искусствоведение, социобиология, математика, психология, правоведение, социология [1].

Во второй половине XX века начинается изучение пространственного аспекта конфликтов (Л. Вирт, Э. Берджесс, М. Кастельс), конфликтность пространства города определяется как один из факторов городского образа жизни [2]. С началом изучения конфликтной тематики в теории градостроительства появляется новая отрасль конфликтологической науки – градостроительная конфликтология. Городской конфликт становится объектом научного интереса представителей разных областей социальных исследований: градостроителей, урбанистов, социологов, психологов и др. Как отмечает Кольба А.И., «предметное поле исследований городского конфликта в настоящее время нельзя считать в полной мере сложившимся, о чем свидетельствует неопределенность формулировки базового понятия, типологии подобных конфликтов, их границ и ряда других аспектов данной проблематики»

[5]. В теоретических работах понятия городского и градостроительного конфликтов часто используются взаимозаменяемо. В рамках данного исследования понятие городского конфликта предлагается определять, как «столкновение интересов пользователей города по поводу городского пространства, получившее внешнее выражение» по И.Р. Медведеву на основе работы Т. Бонакера [6,10]. Следует отметить, что в данном контексте понятие городского конфликта не обязательно должно быть связано с градостроительной деятельностью. Градостроительный конфликт в данном случае рассматривается как вид городского конфликта, важным аспектом которого является факт изменения пространства городской среды (градостроительной ситуации) в процессе взаимодействия. Фрейдин Е.О. в своей работе «Градостроительная деятельность в конфликтном обществе» называет градостроительный конфликт «одним из состояний градостроительной ситуации, а именно – состоянием дисбаланса, в котором она не может выполнять своей функции», ключевым отличием которого является «включение пространственного объекта в качестве элемента конфликтной системы». Градостроительный конфликт по Е.О. Фрейдину: «специфический тип социо-пространственного конфликта, в центре внимания которого находится сам факт изменения среды и столкновение интересов различных групп» [12].

По И.Р. Медведеву в градостроительной конфликтологии в качестве участников конфликта выделяются три стороны: жители, власти и застройщики, каждая из которых защищает собственные интересы [6]. Жители, помимо

своих экономических интересов, защищают собственный образ жизни и сценарии использования территории, которая является предметом конфликта. Городские власти защищают публичные интересы и экономические интересы города, а застройщик – собственные экономические интересы.

Рассмотрим особенности моделирования конфликта. В.А. Светлов разработал базовую структуру социального конфликта, в состав которой входят участники, предпосылки, предмет, среда и результат конфликта. Структурная модель социального конфликта по В.А. Светлова представляет собой граф из двух или более связанных между собой элементов. При конфликтном состоянии системы все или некоторые из элементов находятся в отношении отрицательной обратной связи. В.А. Светлов выделяет два типа бесконфликтных систем – антагонистические, в которых негативное отношение взаимно (сбалансировано), и синергетические, в которых отношение между сторонами взаимно позитивно [11]. Е.О. Фрейдин использует элементы структурной модели В.А. Светлова [9]. Е.О. Фрейдин выделяет ключевое отличие градостроительного конфликта от остальных социально-пространственных – признание пространственного объекта в качестве элемента конфликтной системы, что находит отражение в разработанной им структурной модели (рис. 1). В качестве элементов в своей модели Е.О. Фрейдин выделяет собственника территории (Соб.); его цель (Ц.); саму территорию (ТИ), обладающую исходными пространственными и функциональными характеристиками; проект территории (ТП) с новыми проектными параметрами и местное сообщество (МС).

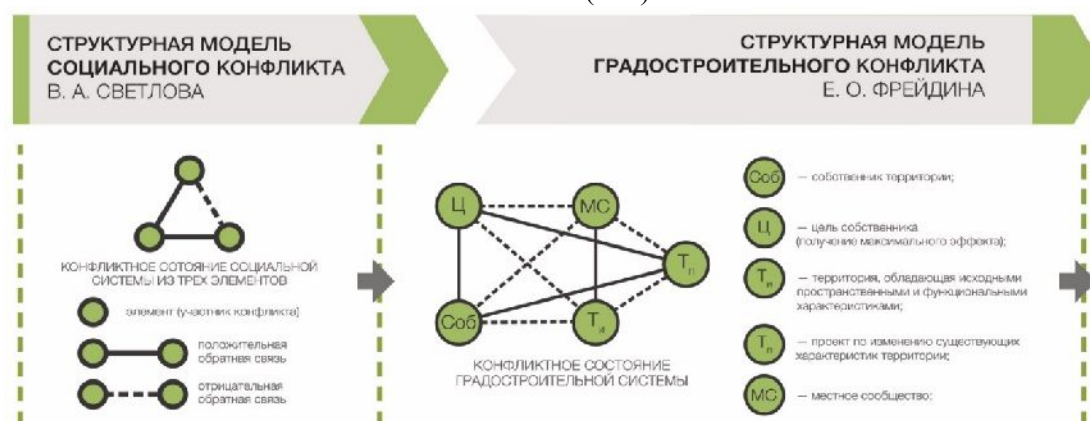


Рис. 1. Пример структурной модели градостроительного конфликта по В.А. Светлову и Е.О. Фрейдину

Основу структурной модели Е.О. Фрейдина составляют три элемента: собственник (Соб.), имеющий право на пользование территорией, цель собственника (Ц.) и отличительный для градостроительного конфликта пространственный элемент – территория в ее исходном состоянии

(ТИ). При анализе структуры в ее базовом виде (3 элемента) элемент «Ц.» может показаться избыточным, так как связь между собственником и его целью по определению всегда остается взаимно положительной, а, следовательно, связи территории (ТИ) с «Соб.» и «Ц.» всегда будут совпадать.

Однако, важно понимать, что в действительности конфликт практически никогда не состоит из трех элементов. Таким образом при введении в систему как минимум одного нового участника, например, местного сообщества (МС) система приобретает сразу три новых связи: «МС» – «ТИ», «МС» – «Соб.», «МС» – «Ц.». В данном случае взаимно отрицательная связь «МС» – «Соб.» не означает, что связь «МС» – «Ц.» обязательно будет отрицательной и наоборот. Необходимо отметить, что связи между элементами отражают внутригрупповые, межличностные и межгрупповые социальные отношения между участниками градостроительной деятельности. Как отмечает Фрейдин конфликт «МС» – «Ц.» в данной структуре следует понимать, как противостояние целей собственника и интересов местного сообщества, а «МС» – «Соб.» – как межличностный конфликт между участниками.

При попытке формирования структурной модели для анализа градостроительных конфликтов, возникающих на земельном участке многоквартирного жилого дома (далее – МКД), по Е.О. Фрейдину можно отметить ряд проблем. Во-первых, невозможно выделить один из основных структурных элементов системы – собственника, так как земельный участок может в равной степени принадлежать нескольким участникам конфликта с противоречащими друг другу интересами. Из чего вытекает следующая проблема: невозможно сформулировать цель собственника, которая бы всегда отражала его интересы, в то время как в структуре Е.О. Фрейдина связь «Соб.» – «Ц.» всегда взаимно положительна, как мы выяснили ранее. В структурной модели конфликта Е.О. Фрейдина все элементы равнозначны, а значит, с ростом числа участников конфликта растет комплексность структуры и уменьшается ее эффективность и наглядность. При разрешении конфликтов необходимо учитывать интересы большого числа отдельных групп жильцов (автовладельцы, маломобильные группы населения, молодежь, жильцы с маленькими детьми, велосипедисты, владельцы домашних животных и др.). Если каждая группа жильцов представит собственный проект территории (ТП), то согласно подходу Фрейдина, каждый «ТП» необходимо будет внести в структурную модель, что усложнит ее в еще большей мере. Следовательно, равнозначность элементов в структурной модели Фрейдина тоже может вызвать проблемы при анализе конфликтов, возникающих на территории земельного участка МКД. Из вышесказанного можно сделать вывод, что для анализа градостроительных конфликтов, возникающих на земельном участке многоквартирного жилого дома, структурная модель Е.О.

Фрейдина подходит не оптимально, следовательно, есть необходимость в разработке новой структурной конфликтологической модели на базе существующих.

Предпримем попытку разработать структурную модель градостроительного конфликта, возникающего на земельном участке многоквартирного жилого дома. При изучении конфликтологической модели, разработанной Е.О. Фрейдиным мы выяснили, что отличительной чертой градостроительного конфликта является введение пространственного элемента (территории) в дополнение к социальным элементам (участникам конфликта) структуры. Для начала рассмотрим основной пространственный элемент модели конфликта по Е.О. Фрейдину – территорию в ее исходном состоянии (Ти). В нашей модели в качестве основного пространственного элемента выступает земельный участок многоквартирного жилого дома в его исходном состоянии. Земельный участок является предметом конфликта, а, следовательно, неотъемлемой частью конфликтологической модели, так как с ним связано зарождение конфликта на придомовой территории. В статье «Градостроительный конфликт. Понятие и стратегии развития» Е.О. Фрейдина можно встретить графическое изображение пространственных элементов модели в виде прямоугольников, вместо кругов, которыми обозначаются участники конфликта, что значительно упрощает визуальное восприятие структуры. В связи с тем, что основной целью создания модели конфликта является отслеживание отношений между пространством и его пользователями, а также из-за большого числа сторон конфликта на придомовых территориях, было решено по примеру Е.О. Фрейдина обозначать пространственные элементы структуры в виде прямоугольников. Таким образом основной пространственный элемент в модели конфликта на придомовой территории – земельный участок в исходном состоянии будет обозначаться как «З.У. исх.».

Помимо основного пространственного элемента в структурную модель могут быть включены все разработанные проектные предложения по изменению характеристик земельного участка. Как и в модели градостроительного конфликта Е.О. Фрейдина, в разрабатываемой модели предложения могут лежать не только в области архитектурного проектирования, но и в областях права, этики, культуры и др., а также объединять в себе комплекс мероприятий из нескольких областей. Каждое валидное проектное предложение вносится в структурную модель как отдельный элемент и обозначается как «З.У.пр.» с порядковым номером, при наличии нескольких проектных предложений.

Наличие пространственного элемента в качестве предмета конфликта налагает некоторые ограничения на возможный исход конфликта. Так как предметом спора является физический объект с реальными пространственными характеристиками – земельный участок определенной площади, то можно предположить, что полное удовлетворение интересов каждой из сторон (полное разрешение) крайне маловероятно. Как правило, площади земельного участка будет недостаточно для размещения всех необходимых сторонам конфликта функциональных зон в полном объеме. Следовательно, наличие в структуре пространственного элемента предполагает либо компромиссный, либо антагонистический исход конфликта. Согласно конфликтологу Э.А. Уткину антагонистическими называются конфликты, которые могут быть разрешены лишь путем разрушения структур всех конфликтующих сторон, кроме одной, а компромиссными – допускающие несколько вариантов разрешения за счет взаимного изменения целей участников конфликта, сроков, условий взаимодействия [12].

Структурная модель градостроительного конфликта может существовать при наличии как минимум двух элементов: пространственного элемента (земельный участок) и участника конфликта. Однако, как правило, в конфликте принимают участие несколько сторон, например, собственник территории и местное сообщество, как в вышеупомянутом примере структурной модели градостроительного конфликта по Е.О. Фрейдину (рис. 1). Для составления общей модели конфликта для придомовой территории многоквартирного дома (МКД) на основе модели Е.О. Фрейдина необходимо определить возможных участников конфликта и их цели (интересы). Как говорилось выше, использование элемента «собственник» в модели конфликта на территории земельного участка нецелесообразно, так как в соответствии с п. 1 ст. 36 Жилищного кодекса Российской Федерации земельный участок, на котором расположен дом, входит в состав общего имущества в многоквартирном доме, а общее имущество в МКД принадлежит на праве общей долевой собственности всем собственникам помещений в многоквартирном доме [3]. Соответственно элемент «собственник» включает в себя множество отдельных групп собственников с различными интересами, и в целях отражения полной картины сущности конфликта должен быть расчленен на отдельные элементы. Каждый элемент представляет из себя группу собственников (Соб.А – Соб.п), объединенную общим интересом и преследующую единую цель. В соответствии с моделью Е.О. Фрейдина цель каждой группы собственников необходимо выделить как

отдельный структурный элемент модели (ЦА-Цп). Однако, так как группы собственников изначально выделяются исходя из общности интересов среди участников, связь между каждой отдельно взятой группой собственников и ее целью (Например, Соб.А – ЦА) всегда будет положительной, то есть бесконфликтной. Следовательно, выделение целей каждой группы собственников в отдельные элементы структуры выполняет единственную функцию – отражение в модели межличностных разногласий между участниками, не связанных с их интересами по отношению к земельному участку. Так как предметом градостроительного конфликта на придомовой территории является земельный участок МКД, в отражении в модели неприязни между отдельными группами жильцов на фоне причин, не связанных с земельным участком, нет необходимости. Кроме того, введение элементов «целей» удваивает количество существующих элементов, тем самым усложняя структуру модели и снижая ее информативность и ясность. На основе выше сказанного было принято решение отказаться от использования элементов типа «цель» в модели градостроительного конфликта на придомовой территории и использовать элемент «группа собственников» (Соб.А – Соб.п) для обозначения их интересов и целей касательно предмета конфликта.

МКД могут выступать физические и юридические лица, являющиеся собственниками жилых и нежилых помещений в доме, а также муниципальные и федеральные власти. Как правило, большинство собственников земельного участка составляют жильцы дома – физические лица, владеющие жилыми помещениями в доме. Жильцы МКД не представляют собой одну сторону конфликта, а являются группой людей с интересами, различающимися в зависимости от социального статуса, систем убеждений, принадлежности к той или иной социальной группе. Следовательно, для того, чтобы каждый элемент разрабатываемой модели представлял собой группу участников, преследующую единую цель относительно предмета спора, необходимо выделить группы жильцов, объединенных общими интересами и потребностями.

При попытках традиционного разделения жильцов на группы в зависимости от социально значимых признаков, становится ясно, что не все группы объединены общими потребностями, имеющими значимую роль в градостроительном конфликте. Например, при разделении жильцов по возрастному признаку на детей, молодежь, взрослых и пожилых людей, в одной группе могут оказаться люди с антагонистическими по от-

ношению друг к другу интересами, а люди из разных групп, могут быть объединены общими интересами. Таким образом, в группу «взрослые» могут быть включены жильцы – автовладельцы, в интересах которых увеличение площади автостоянки во дворе, и жильцы с детьми, приоритетом которых является безопасность ребенка, а значит ограничение доступа автомобилей во двор.

При составлении структурной модели конфликта на территории земельного участка МКД в

условиях реальности в большинстве случаев число сторон конфликта среди жильцов будет весьма значительным (от 3 до n). В такой ситуации следует сначала урегулировать конфликт между группами жильцов, а потом соотносить выбранный ими проект территории с интересами других участников конфликта. Для этого в первую очередь составляется классификация всех групп жильцов и их интересов (рис. 2).



Рис. 2. Участники градостроительного конфликта на придомовой территории и их интересы (потребностей) относительно земельного участка МКД

После классификации участников составляется модель конфликта, отражающая связи интересов всех групп жильцов (Ж1, Ж2...Жn), их отношение к земельному участку в исходном состоянии «З.У.исх.» и ко всем предлагаемым проектам территории земельного участка «З.У.пр.нов.». Затем по желанию все стороны конфликта могут представить свой проект территории, отвечающий их интересам. Для этого синергетически настроенные по отношению друг к другу группы жильцов в кооперации друг с другом при помощи специалистов разрабатывают проекты территории (З.У.пр.1,2...n). Группы жильцов, находящиеся в антагонистических отношениях с остальными участниками, также могут разработать свой проект территории. На следующем этапе вниманию жильцов предоставляются все разработанные проекты территории, и составляется дополненная модель конфликтной ситуации с учетом отношения сторон конфликта к новым проектам территории земельного участка МКД (З.У.пр.1,2...n). На основе полученных данных принимается решение о выборе одного проекта территории, который соответствует интересам всех жильцов МКД (с предварительным внесением изменений при необходимости), который в результате выносятся на следующий уровень структурной модели. На этом этапе сравниваются интересы жильцов с интересами других участников конфликта. Решение о

выборе финального проекта территории принимается в зависимости от каждой конкретной ситуации, а структурная модель конфликта лишь помогает наглядно проиллюстрировать соотношение интересов различных категорий жильцов. Однако, стоит отметить, что не рекомендуется принимать решения руководствуясь лишь, например, численностью той или иной группы населения. При выборе итогового проекта крайне важно учитывать интересы социально незащищенных слоев населения, будущих поколений горожан, общечеловеческое благо и устойчивость природного каркаса города.

На следующем этапе начинается составление модели конфликта на более высоком уровне, в структуру вводятся остальные стороны конфликта: застройщик (подрядчик), все другие собственники территории (владельцы нежилых помещений в доме, в том числе и представители муниципальных, региональных, федеральных учреждений при наличии таковых), независимые сообщества горожан, экспертов, специалистов, заинтересованных и желающих принять участие в обсуждении проектов а также муниципальные власти, регулирующей функцией и отстаивающие интересы всех жителей города и страны. В данном случае муниципальные власти следят за тем, чтобы новый проект не подвергал риску здо-

ровые и жизни людей, соответствовал действующим регламентам и нормативам, соответствовал стратегии развития города и страны.

После определения всех участников конфликта, составляется полная модель структуры градостроительного конфликта на придомовой территории (рис. 3): отражаются соотношения интересов сторон между собой и по отношению к разработанному с учетом интересов жителей проекту территории земельного участка (З.У. пр. ж.). На основе полученной информации при необходимости вносятся изменения в проект

территории или разрабатывается новый проект (в таком случае процесс утверждения проекта у собственников жилья (уровень 1) повторяется для нового разработанного проекта). Окончательное решение принимается на основе данных всех произведенных исследований с учетом интересов как можно большего числа сторон конфликта из соображений безопасности, экономической эффективности, соответствия приоритетным программам развития города коллегией из компетентных специалистов и собственников территории.



Рис. 3. Модель структуры градостроительного конфликта на придомовой территории МКД. Разраб. Лебедева Ю., Перькова М.В.

Разработан алгоритм моделирования градостроительного конфликта на придомовой территории, который раскрывает последовательность выявления и урегулирования градостроительного конфликта (рис.4).

На основе изученных механизмов вовлечения населения в вопросы принятия решений в области градостроительной деятельности и разработанного инструментария градостроительной конфликтологии разработана последовательность принятия планировочных решений для адаптации территории с учетом различных интересов и ценностей участников градостроительной деятельности, которая включает три этапа:

1. Аналитический этап предполагает градостроительный анализ:

- на уровне города (анализ соответствия территории программам стратегического развития города, анализ пешеходной и транспортной доступности, анализ обеспеченности территории объектами торговли и услуг эпизодического пользования, анализ положения жилой территории в структуре города и зеленых зон);

- на уровне планировочной единицы (анализ пешеходной, автомобильной и велосипедной инфраструктуры района, оценка обеспеченности объектами торговли и услуг периодического пользования, оценка обеспеченности территории микрорайона/квартала парковочными местами,

оценка удовлетворенности пользования территорией жильцами);

- на уровне земельного участка многоквартирного жилого дома (санитарно-гигиеническая оценка инсоляционного режима территории, анализ состояния внешнего благоустройства территории, дендрологический анализ и оценка обеспеченности территории зелеными насаждениями, анализ инженерной обеспеченности территории).

2. Типологический этап предполагает определение видов существующих на территории конфликтов на основе выявления основных участников конфликта и их интересов.

3. Разрешительный этап включает разработку способов разрешения градостроительного конфликта:

- вовлечение всех заинтересованных сторон в процесс принятия градостроительных решений;
- защита интересов социально-незащищенных групп населения на уровне города;
- принятие решений, выгодных со всех сторон: путь компромисса;
- увеличение роли местных жителей в процессе принятия решений локального характера;
- закрепление на законодательном уровне за население «права на город» и право на адвокативного планировщика;

– трансформация системы городского планирования с расчетом на более высокий уровень гражданского участия (рис. 5).

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО КОНФЛИКТА НА ПРИДОМОВОЙ ТЕРРИТОРИИ



Рис. 4. Алгоритм моделирования градостроительного конфликта на придомовой территории

Метод социальной адаптации территории предполагается применять на трех уровнях: город, уровне микрорайона (квартала), уровне земельного участка многоквартирного дома. Метод основан на распределении полномочий принятия градостроительных решений между всеми участниками градостроительной деятельности в зависимости от их компетенции. Это должно привести к формированию придомовых территорий, отвечающих потребностям большего числа современных пользователей. Предложенный метод дает возможность адаптировать территорию согласно интересам и ценностям всех участников градостроительной деятельности и гибко подходить к разрешению возникающих и потенциальных конфликтов по отношению к территории.

Метод апробирован на примере двух видов застройки (квартальной и микрорайонной) в г. Белгороде. В ходе изучения эволюции планировочных единиц селитебных территорий г. Белгорода было выделено 7 периодов: традиционное

поселение со свободной планировкой, поселок-сад с живописной планировкой, рабочий поселок с прямоугольно-решетчатой квартальной планировкой, социалистический город с планировкой из укрупненных кварталов, советский город с микрорайонной планировкой, точечная застройка перестроечного периода, микрорайонная застройка субурбий начала XXI века. В результате изучения был сформулирован ряд основных планировочных проблем, свойственных каждому периоду развития жилой застройки и остающихся нерешенными или частично нерешенными до наших дней. В ходе работы были выделены следующие проблемы: самозахват территории, разрастания городов, низкого функционального разнообразия придомовых территорий, эстетического однообразия архитектурно-планировочных решений, отчуждения территории, проблема точечной застройки без учета интересов населения, проблема низкой транспортной доступности.

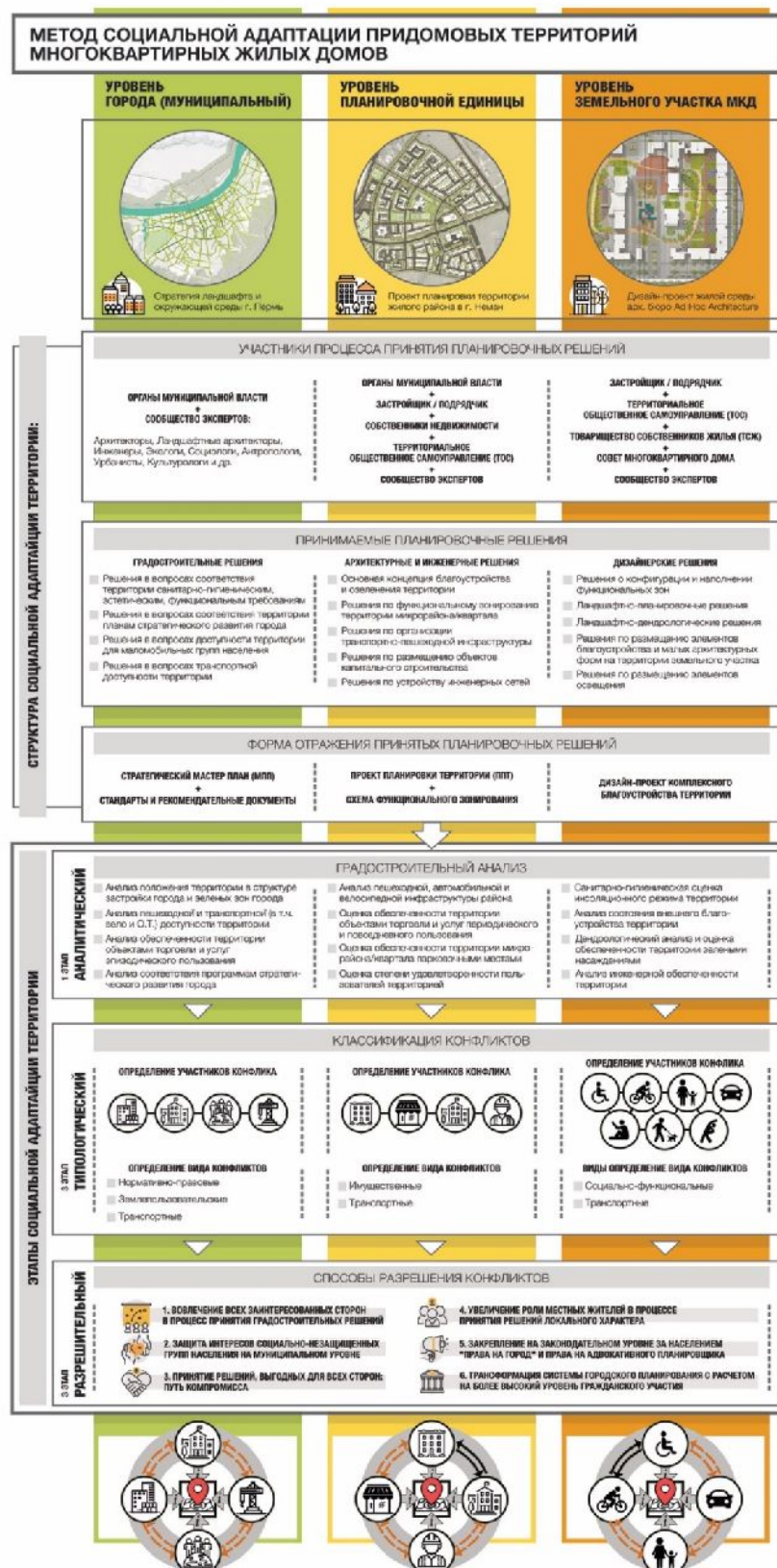


Рис. 5. Метод социальной адаптации придомовых территории многоквартирных жилых домов

Таким образом, истоки современных градостроительных конфликтов на придомовой территории прослеживаются от начала массовой жилой застройки XX в. и зависят от вида застройки

и планировочных решений. Выявлены градостроительные конфликты, возникающие в результате применения системы застройки для каждого исторического периода:

1) землепользовательский конфликт между собственниками недвижимости, между городскими властями и собственниками бизнеса;

2) транспортный конфликт между автомобилистами и общественным транспортом;

3) социально-функциональный конфликт между функцией территории, экономикой и эстетикой;

4) имущественный конфликт между собственниками территории и общественностью, между собственниками недвижимости и застройщиком.

В связи с различиями в особенностях планировочной структуры и организации придомовых территорий многоквартирных жилых домов в зависимости от типологии рассматриваемой планировочной единицы, было принято решение о целесообразности апробации метода на примере двух участков территории, относящихся к разным типам планировки (квартальной и микрорайонной). В качестве исследуемых территорий выбраны (1) участок застройки типа укрупненный квартал в границах улиц Гагарина, Некрасова, Шершнева и пр-та Богдана Хмельницкого; (2) микрорайон №6, расположенный в границах улиц Губкина, Шаландина, Королева и пр-та Ватутина. Исследуемый квартал занимает площадь в 9,6 га. Средняя площадь дворовой территории на участке составляет 0,4 га, этажность застройки варьируется от 4 до 6 этажей. Исследуемый микрорайон занимает площадь в 33,4 га. Средняя площадь дворовой территории на участке составляет 1,2 га, этажность застройки варьируется от 9 до 15 этажей.

Для каждой планировочной единицы разработана схема существующих на территории градостроительных конфликтов. Для разработки данной схемы на опорном плане территории были отмечены существующие автомобильные проезды и парковки (в том числе стихийные), пешеходная сеть (в том числе грунтовые пешеходные дорожки), основные функциональные площадки (детские игровые и спортивные площадки, места для тихого отдыха, площадки для сушки белья, хозяйственные площадки для хранения ТБО). В результате исследования были выявлены и зафиксированы на фото многочисленные пересечения зон влияния функциональных площадок, то есть конфликты социально-функционального типа. В ходе натурного обследования рассматриваемых территорий было обнаружено примеры трех видов социально-функциональных конфликтов:

1) конфликт зон влияния функциональных площадок, возникающий при наложении зон вли-

яния площадок с различным характером использования (детская и хозяйственная, спортивная и для тихого отдыха);

2) конфликтные зоны с низким функциональным наполнением, возникающие в связи с нерациональным использованием территории;

3) конфликтные зоны пониженного социального контроля (зоны отчуждения), возникающие на изолированных территориях с низкими пешеходными потоками, побуждающих асоциальное поведение.

На участке квартальной застройки ввиду малого размера планировочной единицы были наиболее распространены конфликты зон влияния функциональных площадок. Данный тип конфликта возникает при наложении зон влияния площадок с различным характером использования. Характер использования площадок можно определить в соответствии с диаграммой среднего поведения по А.В. Крашенинникову [4].

Обнаруженные на территории конфликты формировались при расположении

1) шумных площадок (детские игровые и спортивные площадки) вблизи площадок располагающим к тишине и спокойствию (места для тихого отдыха),

2) площадок, являющихся источниками пыли и грязи (детские игровые и спортивные площадки, площадки для хранения ТБО) к площадкам, где важна чистота (площадки для сушки белья),

3) автомобильных парковочных зон в непосредственной близости к детским игровым и спортивным площадкам, площадкам для сушки белья и местам тихого отдыха.

Ввиду характерных для микрорайона планировочных особенностей на территории данного типа их трех видов выявленных социально-функциональных конфликтов наиболее остро стоят конфликты, вызванные зонами с низким функциональным наполнением и зонами пониженного социального контроля. Для микрорайонов характерна застройка зданиями повышенной этажности. Для соблюдения требований санитарно-гигиенических норм при такой застройке, расстояние между домами необходимо увеличить по сравнению с застройкой средней этажности для обеспечения необходимой инсоляции. В результате между домами образуются непригодные для застройки участки земли большой площади. Содержание благоустроенных площадей такой площади является экономически невыгодным, что приводит к неэффективному использованию пространства. Большие участки неблагоустроенных пустынных территорий неблагоприятно влияют на качество жилой среды территории и провоцируют градостроительные конфликты.

Зоны пониженного социального контроля возникают на изолированных территориях с низкими пешеходными потоками. Они побуждают асоциальное поведение и являются угрозой для безопасности района в целом. Проблема, вызванная существованием пониженного социального контроля, особенно остро стоит в застройке микрорайонного типа, ввиду отсутствия ясного деления на частное и общественное пространства. В микрорайонной планировке неминуемо возникают зоны отчуждения, находящиеся в отдалении от источников социального контроля.

Обнаруженные на исследуемых территориях транспортные конфликты включают в себя конфликты взаимоисключения пешеходных и автомобильных маршрутов, конфликты пешеходных маршрутов и различных функциональных зон, конфликты пешеходных маршрутов и автостоянок, конфликты автоинфраструктуры и инклюзивной пешеходной среды и конфликты пересечения пешеходных и автомобильных маршрутов. Проблема обеспеченности коллективными автостоянками одинаково остро стоит на обоих участках территориях. Острота проблемы в квартальной застройке объясняется ограниченной площадью квартала и нехваткой отдельно стоящих, встроенных или подземных паркингов для жильцов, однако центральное расположение квартала в городе предположительно снижает потребность населения в лично автотранспорте и способствует снижению автомобилизации. Несмотря на превосходящую площадь участка микрорайонной застройки и организацию подземных коллективных автостоянок, проблема стихийной парковки стоит так же остро. Это можно объяснить увеличенной по сравнению с квартальной плотностью населения, связанной с увеличением этажности застройки.

На основе планировочных схем градостроительных конфликтов сформированы структурные модели конфликтов на исследуемых придомовых территориях, а также разработаны концептуальные схемы планировочной организации территории с предложениями, направленными на разрешение существующих градостроительных конфликтов. Планировочные предложения по разрешению градостроительных конфликтов включают:

1. Разделение пространства на частное и общественное на основе существующей планировки и пешеходных потоков с применением наполняющей застройки.

2. Принятие мер для повышения пешеходной привлекательности территории, использование активных фасадов первых этажей, расположение на территории планировочных единиц мест притяжения и общественных пространств.

3. Размещение функциональных зон на территории с учетом их режима использования, шумовых и акустических характеристик, таким образом, чтобы нейтрализовать максимальное количество существующих конфликтов, например, расположение вблизи окон жилых домов небольших детских площадок для детей младшего возраста и не рассчитанных на скопление большого числа пользователей, с выносом крупных игровых и спортивных площадок в общественное ядро планировочной единицы на удалении от жилых домов.

4. Обеспечение местных жителей парковочными местами для личного автотранспорта путем возведения наземных, подземных и встроенных автопаркингов по принципу наполняющей застройки на уровне планировочной единицы. Мероприятия осуществляются с одновременным развитием системы общественного транспорта, пешеходной и велосипедной инфраструктур для постепенного снижения уровня автомобилизации на уровне города.

5. Разработка дизайн проектов благоустройства территории на уровне земельного участка с учетом интересов и потребностей всех участников градостроительной деятельности, в особенности повседневных пользователей территории, с непосредственным участием сторон конфликта в формировании концептуального видения территории.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анцупов А.Я., Шипилов А.И. Конфликтология: Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ, 2000. 551 с.
2. Вирт Л. Урбанизм как образ жизни. М: Стрелка Пресс, 2016.
3. Жилищный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 года № 188-ФЗ.
4. Крашенинников А.В. Микро-пространства городской среды // Международный электронный научно-образовательный журнал "AMIT" [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2014/4kvart14/kras_h/abstract.php
5. Кольба А.И. Развитие представлений о городском конфликте в современных социальных исследованиях // Человек. Сообщество. Управление. 2016 г. Том 17. №3. С. 132–144.
6. Медведев И.Р. Разрешение городских конфликтов. М.: Инфотропик Медиа, 2017.
7. Перькова М.В. Методика выявления и разрешения градостроительных противоречий

развития на региональном уровне // Вестник БГТУ им. Шухова. 2018. № 4. С. 62–72.

8. Перькова М.В. Конфликтологический подход в градостроительстве // Архитектура и строительство России. 2018. № 2. С. 92–99.

9. Самарин, А.В., Шадрина А.В. Городские конфликты: пространство решений // Академический вестник УралНИИПроект РААСН, 2010. №2.

10. Светлов В.А. Конфликт: модели, решения, менеджмент. Спб.: Питер, 2005.

11. Уткин Э.А. Конфликтология. Теория и практика. М.: Тандем, Экмос, 2000.

12. Фрейдин Е.О. Конфликтологическая концепция градостроительной деятельности (градо-строительная конфликтология) // Сборник тезисов Международной конференции в НГАХА. Новосибирск, 2007.

13. Bonacker Thorsten, von Heusinger, Judith, Zimmer, Kerstin. Localization in Development Aid. How Global Institutions enter Local Lifeworlds. London, New York, 2017.

Информация об авторах

Перькова Маргарита Викторовна, кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства. E-mail: perkova.mv@bstu.ru; perkova.margo@mail.ru. Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Вайтенс Андрей Георгиевич, доктор архитектуры, доцент кафедры градостроительства. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. Егорова, д. 5/7.

Лебедева Юлианна Дмитриевна, магистрант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: juliannearchitect@gmail.com. Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в августе 2018 г.

© Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Лебедева Ю.Д., 2018

^{1,*}Per'kova M.V., ²Vaytens A.G., ¹Lebedeva Y.D.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, St. Petersburg, st. Egorova, 5/7

*E-mail: perkova.mv@bstu.ru; perkova.margo@mail.ru

METHOD OF SOCIAL ADAPTATION OF TERRITORIES NEAR THE HOUSE OF MULTI-QUARTER RESIDENTIAL HOUSES

Abstract. In the context of the conflictology approach, the study proposes a method of adaptation in the apartment buildings territory as a search for a compromise among the participants of urban planning in residential development. The tools of urban planning conflictology in relation to a local area (modeling a conflict of town planning structure for local areas) are proposed. A model of potential participants in the architectural and urban planning activity on the territory near the house has been developed. It allows to take into account their interests and values (of apartment owners, business owners, municipal authorities, developer, contractor, public). The owners have different interests with respect to the territory near the house (motorists, cyclists, low mobile groups, residents with children, persons who prefer quiet and active recreation, owners of pets). An algorithm for simulating an urban planning conflict on a house territory reveals the sequence of identification and an urban planning conflict solution. It extends the role of citizens in urban planning and adapts the land for modern population needs.

Keywords: urban planning conflict, residential development, territory near the house, method, modeling.

REFERENCES

1. Antsupov A.Ya., Shipilov A.I. Konfliktologiya: Textbook for universities. M.: UNI-TI, 2000, 551 p.

2. Wirth L. Urbanism as a way of life. M: Arrow Press, 2016.

3. The Housing Code of the Russian Federation of December 29, 2004, no. 188-ФЗ.

4. Krashenninnikov A.V. Micro-spaces of the urban environment. International Electronic Scientific Educational Journal "AMIT" [Electronic resource]. - Access mode:

http://www.marhi.ru/eng/AMIT/2014/4kvart14/kras_h/abstract.php/

5. Kolba A.I. The development of ideas about the urban conflict in modern social studies. *Man. Community. Management*, 2016, vol. 17, no. 3, pp. 32–144.

6. Medvedev I.R. The resolution of urban conflicts. M.: Infotropic Media, 2017.

7. Perkova M.V. Methods of identifying and resolving urban development controversies at the regional level. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 4, pp. 62–72.

8. Perkova M.V. Conflictological approach in urban planning. *Architecture and Construction of Russia*, 2018, no. 2, pp. 92–99.

9. Samarin A.V., Shadrina A.V. Urban Conflicts: Solution Space. *Academic Bulletin Ural-NIIProekt RAASN*, 2010, no. 2.

10. Svetlov V.A. Conflict: models, solutions, management. Spb.: Peter, 2005.

11. Utkin A.A. Conflictology. Theory and practice. M.: Tandem, Ekmos, 2000.

12. Freydin E.O. Conflictology concept of urban planning activity (urban conflict resolution). *Proceedings of the International Conference in NGAHA. Novosibirsk*, 2007.

13. Bonacker Thorsten, von Heusinger, Judith, Zimmer, Kerstin. *Localization in Development Aid. How Global Institutions enter Local Lifeworlds*. London, New York, 2017.

Information about the author

Per'kova, Margarita V. PhD, Professor. E-mail: perkova.mv@bstu.ru; perkova.margo@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vaytens, Andrei G. PhD, Professor. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, st. Egorova, 5/7.

Lebedeva, Yulianna D. Master student. E-mail: juliannearchitect@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in August 2018

Для цитирования:

Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Лебедева Ю.Д. Метод социальной адаптации придомовых территорий многоквартирных жилых домов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 90–102. DOI: 10.12737/article_5bd95a7656a8f9.11998830

For citation:

Perkova M.V., Vaytens A.G., Lebedeva Y.D. Method of social adaptation of territory in multi-quarter residential houses. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2018, no. 10, pp. 90–102. DOI: 10.12737/article_5bd95a7656a8f9.11998830

DOI: 10.12737/article_5bd95a7716ba77.86781097

^{1,*}Горожанкин В.К., ²Семенцов С.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

*E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru

СИМУЛЯКР ОРНАМЕНТА В АРХИТЕКТУРНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

Аннотация. Архитектурная экспозиция – предмет профессионального мышления, в котором рассматривается зависимость процесса образования знаковых форм и текстов от содержания восприятия, приобретённого зрителем в процессе видения, представления и понимания многослойной архитектурной формы. Историческое развитие античного термина «симулякр» продолжилось в философских дискурсах постмодернизма, в которых термин определился как семиотический знак или изображение, не имеющего означаемого объекта в реальности или оригинала в действительности. Отталкиваясь от этой дефиниции, автор использует особенности архитектурного формообразования для кодификации симулякров и рассмотрения орнамента в качестве многослойных структур, участвующих в организации фасадов. Изоморфный код использует принцип коллажа для компоновки изображительного слоя (рисунок, фотография) поверх слоя строительного материала и сквозь его предметы. Метаморфическое кодирование основывает симулякры на суперпозиции естественно-искусственных слоёв, отображающих изменение их состояний в орнаменте. Параморфичный код шифрует позицию автора в зрелище явления орнаментальных структур.

Ключевые слова: субстанция орнамента, изоморфный, метаморфический, параморфичный коды симулякров.

1. Метаморфозы орнаментальной субстанции в архитектуре XX века

Культура орнамента претерпела в прошлом веке значительные изменения, в том числе, в субстанции материала. Например, ажурные решётки В. Фаворского (рис. 1) в пост-современном здании заменили фотографии лилий, выполненные анонимным художником, были затем смонтированы в «веночки» и напечатаны на стеклянные панели, образующие поверхность фасада



Рис. 1. А. Буров, Б. Блохин, В. Фаворский. Медальоны и решётки в декоре жилого дома 27 по Ленинградскому проспекту. Москва, 1941

Незаконно сравнивать фасадную пластику Фаворского и цифровую графику безымянного художника, но и то и другое представляют собой симулякр – иконическую форму знака, изобража-

(рис. 2). На этом сравнении работ архитекторов Бурова и Чобана выясняется, что за 60 лет толщина орнаментального слоя сократилась в десятки раз, трудоёмкость уменьшилась в сотни раз, а эстетическое качество, воплощённое в этом примере массовой застройки, уменьшилось в неизмеримые разы, но архитектурный гений Чобана очевиден на реконструированных фасадах офисов [2].



Рис. 2. С. Чобан. Офисное здание «Оранжерея» на территории бывшего завода «Россия», Санкт-Петербург, 2008

ющего несуществующие в реальном мире объекты, фантазмы: в природе вам не найти ни подсолнухов Фаворского, ни лилий Чобана.

«Светлый ум Франции» (по оценке философа-экзистенциалиста М. Хайдеггера) Жорж Ба-

тай уже в 40-е годы связал симулякр с раскрытием, разрывом смысловой замкнутости понятий, обращённых к идентичностям существования. Он изучает «суверенные моменты» бытия, которые не выразимы на «языке понятий» без тотальной потери смысла. Они, по мнению Батая, представляют «симулякр прерывности». Опыт «суверенных моментов» меняет субъекта, реализующего себя в этом опыте, отчуждая его идентичность и высвобождает его к подлинному бытию. В таком контексте симулякр упраздняет возможность мысли о какой бы то ни было идентичности, обнаруживает проектно-сообразную функцию [4].

В контексте «идентичности понятий» и «суверенности графем» возникает повод сослаться на представления о материальной, процессуальной и структурных типах целостности систем

формообразования, связанных с изоморфными, метаморфными и параморфными методами 3Д-моделирования, или одноимёнными шифрами в языковом кодировании симулякров [6].

2. Симулякры и копии.

Античный философ Платон утверждал, что творчество является либо божественным, созидующим природные предметы и их отображения, либо человеческим, творящим искусственные предметы и их отображения [9]. Создавая предметы, человек симулирует божественную деятельность (рис. 3). Подражая Творцу, человек копирует иконические образы «естественных» предметов (созданных богом, природой или возникшими естественным образом), но кроме копий-икон, человек создаёт симулякры – фантазмы (рис. 4).



Рис. 3. Подражание, творящее иконические образы, соответствующие божественным предметам. – Порттик кариатид храма Эрехтейон в Афинах



Рис. 4. Симулякр женского образа в ионической колонне (канелюры – складки платья, завитки капители – локоны причёски и мн. др. признаки)

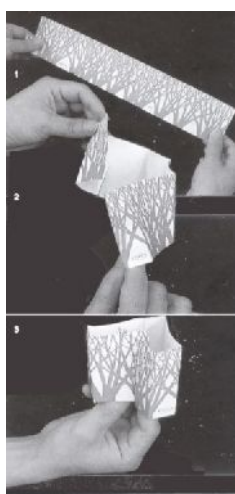


Рис. 5. Моделирование фасадного слоя-обёртки с признаками ветвящейся кроны (для магазина Tod's)



Рис. 6. Орнаментальный симулякр – фантом древовидности на фасаде токийского магазина Tod's работы Тайо Ито (2002 г.)

В человеческом подражании, создающем призраки предметов, выделяется устремлённость художника к поиску средств полного выражения сходства искусственных качеств «проектируемого» образа с природными свойствами предметов и явлений (рис. 5, 6). Современный интерпретатор античной софистики Жиль Делёз, отмечал, что симулякр – это образ, живущий различием, а не подобием, как иконический. Симулякры – это динамичные структуры образа, которым придана активность и способность к развитию мира внутренних связей. Симулякр и копия противоположны по своей направленности: симулякр активен, не имеет прообраза, поэтому ищет своего воплощения в действительности; копия же пассивно отображает то, что уже существует. Подчёркивая роль симулякров Ж. Делёз утверждал, что искусство превращает копии в симулякры [8].

3. Метаморфический код симулякров.

Другой французский социолог Жан Бодрийяр установил различие трёх порядков симулякров: с эпохи Возрождения и до Промышленной революции господствовали «подделки», объекты, в которых естественный материал (в архитектуре, античный мрамор) заменён более дешёвым искусственным материалом (гипсом). Симулякр подделки сохраняет «старые» формы, олицетворяющие прежний статус для нового владельца «поддельного» орнамента. «Производственный» симулякр, тиражируя форму, переносит акцент на редубликацию образов в гиперреальность, в которой потеряна грань различия оригинала и копии. На третьем уровне «генезиса симулякров», который управляется кодированием и обретает сегодня свою завершённую форму в «генетическом коде». На этом уровне вопрос о знаках, об их рациональном предназначении, о том, что в них есть реального и воображаемого, что они вытесняют и скрывают, какую иллюзию образуют, о чём умалчивают и какие побочные значения содержат, – такого рода вопросы снимаются [5].

Сущность кодирования по Бодрийяру связана с бинарной оппозицией. Поэтому, генетическим кодом языка архитектуры является противостояние «естественных» и «искусственных» субстанций [6]. Одним из языков, соединивших «Е-И» – компоненты в единство, являются орнаменты – повторяющиеся геометрические, растительные или абстрактные узоры, традиционно используемые архитектором для декорирования зданий и строительных деталей.

Орнамент возникает, в том числе, в рисунке плана и считается как результат структурной организации планировки городов и зданий (рис.7); в этом качестве он дошёл до наших дней

и используется в виде «сетей планировки» [3]. Но, также масштабная модель городской застройки так называемый «макет», являясь освоенной формой и закреплённой в культуре нормой языка, «вдруг» становится пластическим прообразом орнамента в декоре конгресс-центра в Мериде (рис. 8).

4. Организующий фасад симулякр орнамента.

В средние века, триангуляционные сети обслуживали задачу регулирования фасадных членений (рис. 9); в наше время, проектируя жилой дом на строительной выставке в Берлине, Леон и Роб Крие поддерживали средневековую традицию: их орнаментальный симулякр придал пропорциональной структуре ценностный оттенок (рис. 10) [1]. Сорок лет спустя, уже забыв о шутке с пропорциями фасадов у братьев Крие, наши современники часто используют симметрическую структуру, лежащую в основе всякого орнамента [11], превращая её в симулякр «тотальной» организации.

Том Фолдерс вместе со специалистом по цифровым технологиям Шоном Ахлкуистом, создал многослойный фасад музея «Airspace» в Токио (рис 11). В своём поиске он пришёл к идее двух узорчатых плоскостей, раздвинутых на расстояние 20 см., создающих динамичный оптический эффект «воздушного пространства» [2]. Суперпозиция ажурных слоёв, была образована двумя сплюснутыми на компьютере рисунками и вырезанным лазером на тоненьких листах композитного сплава из алюминия и пластика, на этом фасаде напоминают нежные вязаные кружева (рис.11).

5. Изоморфный код симулякров

Метафора – «крыша – это пятый фасад» – всё чаще приобретает черты программного заявления. Архитектор Бенедетта Тальябуе в проекте реконструкции крытого рынка Санта-Катарина в Барселоне, использовала натюрморт в качестве рисунка покрытия крыши, составленной из 325 тыс. разноцветных изразцов 67 цветов (рис. 12). В интервью по поводу крыши из керамических изразцов Бенедетта Тальябуе сказала: «Мы стараемся придать архитектурным сооружениям человеческий масштаб. Перед нами стояла задача обжить большие промышленные территории. В данном случае речь идеи не о декорации, а об элементарном внимании к особенностям визуального восприятия. Мы не выработали никакого специального орнаментального метода, а фрагментировали пространство таким образом, чтобы оно могло служить людям»... Проект поддерживает традицию: «делать так, чтобы жителям хотелось чаще посещать данное место» [2].

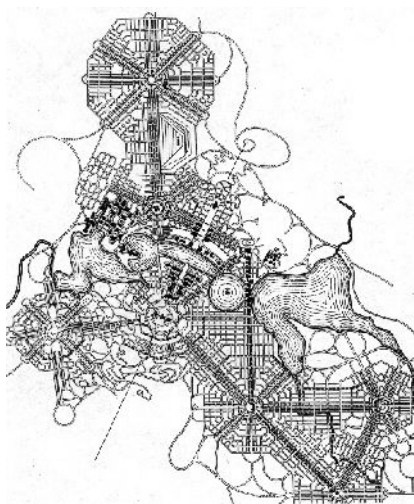


Рис. 7. Арх. У. Грифин. Фрагмент генерального плана столицы Австралии г. Канберри, 1812



Рис. 8. Ф. Ньюто, Э. Собехано. Симулякр макета застройки в декоре конгресс-центра и выставочного павильона в Мериде, 2004

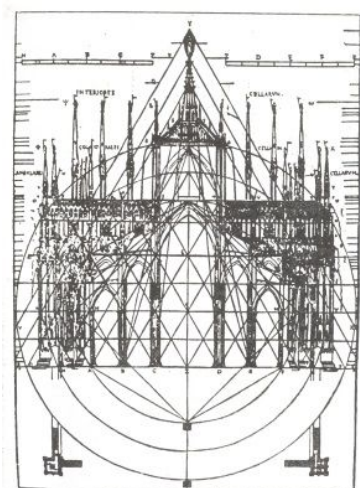


Рис. 9. Сетевое регулирование фасадных абрисов готического собора (Ч. Чезариано)

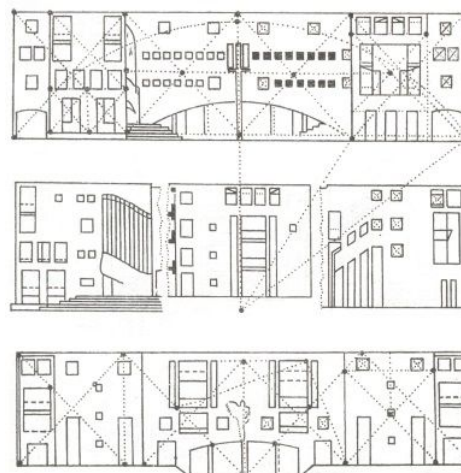


Рис. 10. Симулякр пропорций в построении фасадов жилого дома в Берлине (Л. и Р. Крие.



Рис. 11. Том Фолдерс. Суперпозиция параметральных орнаментов фасада музея Airspace в Токио, 2007

Приём «коллажа» уже стал общим принципом симулякации для многих проектов. Так в офисном здании «Дом Бенуа», созданном Сергеем Чобаном при реконструкции завода «Россия», на стеклянные панели были помещена обработанная в компьютере графика Александра

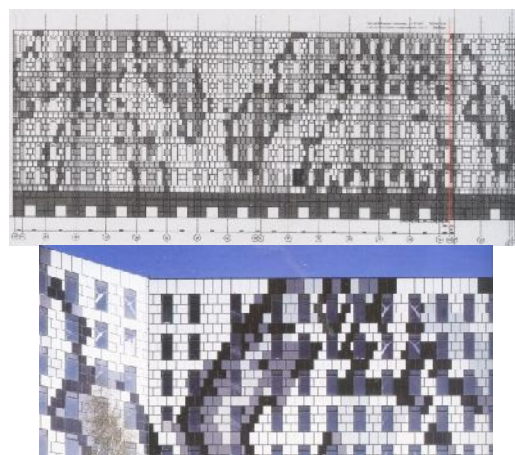
Бенуа, возвращающая Пискаревскому проспекту маркировку петербургского места, связанного с символикой «Мира искусства» (рис. 13) [2]. Отметим, что в орнаментации дворового фасада офисного здания использован метод деколлажа [7].



Рис.12. Тальябуе Б. Реконструкция рынка Санта-Катарина в Барселоне (вид сверху и концептуальная модель-коллаж)



Рис. 13. С. Чобан. Орнаментальный фасад офисного здания «Бенуа» на территории бывшего завода «Россия», 2008



Геометрический узор в серебристо-белой гамме как увеличенный в компьютере фрагмент абрисов костюмов А. Бенуа

6. Параморфичный код симулякров

В Институте Арабского мира Жан Нувель построил первый фасад, организованный кинетическим орнаментом (Париж, 1987 – рис. 14). Его декоративные элементы открываются в зависимости от уличного освещения, управляются фотоэлектрическими сенсорами и изменение свето-

вых отверстий «рисуют» фасад по образу «арабески». Поиски кинетического фасада Ж. Нувель продолжил в поиске «изменяемых пикселей» в симулякре «фонтан цвета» [10]. Его зрелище было воплощено в Барселоне 2003 года в башне Агбар, затем, «пиксели света» представили симулякр в постройке художественного музея «Лувр в Абу-Даби», 2017 (рис. 15).



Рис. 14. Жан Нувель. Механизм кинетического орнамента и фасад Института арабского мира. Париж, 1987



Рис. 15. Жан Нувель. Суперпозиция орнаментов конструктивных элементов в куполе «Лувр в Абу-Даби», 2017

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авксентьев В.Л. Архитектурная пропорция. Киев: «Будівельник», 1986. 96 с.
2. Архитектурный журнал Speech: орнамент. 2008. № 01. 222 с.
3. Бархин М.Г. Город, структура и композиция. М.: Наука, 1986. 264 с.
4. Батай Жорж. Материалы Википедии. [Электронный ресурс ru.wikipedia.org]
5. Бодрийяр Жан. Символический обмен и смерть. М.: Добросвет, КДУ, 2015. 392 с.
6. Горожанкин В.К. Системная парадигма и архитектурная морфология // Вестник БГТУ им.

В.Г. Шухова. 2017. № 6. С. 91–95.

7. Горожанкин В.К., Храбатина Н.В. Слои формы в архитектурной экспозиции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 2. С. 44–47.

8. Делёз Ж. Логика смысла. М.: Раритет, Екатеринбург: Деловая книга, 1998. 480 с.

9. Кирюшин А.Н., Астахова А.Н. Идея симулякра в понимании виртуального: от Платона к постмодернизму // Гуманитарные научные исследования. 2012. № 8 [Электронный ресурс].

10. Нувель Жан. Великие архитекторы том 29. М.: Директ-Медиа, 2016. 72 с.

11. Шубников А.В. Симметрия: (Законы симметрии и их применение в науке, технике и прикладном искусстве) М., Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 175 с.

Информация об авторах

Горожанкин Валентин Константинович, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Семенцов Сергей Владимирович, доктор архитектуры, профессор кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: s.sementsov@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Поступила в июне 2018 г.

© Горожанкин В.К., Семенцов С.В., 2018

^{1,*}**Gorozhankin V.K., ²Semencov S.V.**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyская st., 4

*E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru

ORNAMENT SIMULACRUM IN THE ARCHITECTURAL EXHIBITION

Abstract. The architectural exposition is a subject of professional thinking. It examines the behavior of sign forms emergence and texts versus perception, that viewer acquires during the vision, imagination and understanding of the multi-layered architectural form. The philosophical discourses of postmodernism have continued historical development of an ancient term "simulacrum". The term is defined as a semiotic sign or image, which does not have a designated object or original in reality. Based on this definition, the author uses the features of architectural forms emergence to codify simulacra and to consider the ornament as multi-

layered structures, which are involved in organization of facades. The isomorphic code uses the collage principle to lay out a pictorial layer (drawing, photography) over the building material and through its objects. Metamorphic coding bases simulacra on superposition of natural-artificial layers, which represents the change of ornament condition. The author's position in the spectacle of ornamental structures is encoded by the paramorphic code.

Keywords: *substance of ornament, isomorphic, metamorphic, paramorphic codes of simulacra.*

REFERENCES

1. Avksentyev V.L. Architectural Pro-portion. Kyiv: "Budivelnik", 1986, 96 p.
2. Architectural magazine Speech: Orna-ment. 2008, no. 01. 222 p.
3. Barkhin M.G. City, structure and com-position. M.: Science, 1986, 264 p.
4. Bataille Georges. Wikipedia Materials. [Electronic resource ru.wikipedia.org]
5. Baudrillard Jean. Symbolic exchange and death. M.: Dobrosvet, KDU, 2015, 392 p.
6. Gorozhankin V.K. System paradigm and architectural morphology. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 6, pp. 91–95.
7. Gorozhankin V.K., Granatina N.V. The layers form in the architecture of the exhibition. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 2, pp. 44–47.
8. Deleuze G. The logic of sense. M.: Rarity, Ekaterinburg: Business book, 1998. 480 p.
9. Kiryushin A.N., Astashova A.N. The idea of the simulacrum in the understanding of the virtual: from Plato to postmodernism. Humanitarian scientific researches. 2012, no. 8 [Electronic resource].
10. Nouvel Jean. The great architects of volume 29. M.: Direct-Media, 2016, 72 p.
11. Shubnikov A.V. Symmetry: (laws of symmetry and their application in science, technology and applied art) M.; L.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1940. 175 p.

Information about the author

Gorozhankin, Valentin K. Senior lecturer. E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Semencov, Sergey V. DSc, Professor. E-mail: s.sementsov@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4.

Received in June 2018

Для цитирования:

Горожанкин В.К., Семенов С.В. Симулякр орнамента в архитектурной экспозиции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 103–109. DOI: 10.12737/article_5bd95a7716ba77.86781097

For citation:

Gorozhankin V.K., Semencov S.V. Ornament simulacrum in the architectural exhibition. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 103–109. DOI: 10.12737/article_5bd95a7716ba77.86781097

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5bd95a78957a23.58646223

^{1,*}Черкашина Н.И., ¹Павленко В.И., ¹Сидельников Р.В., ¹Беседин П.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: cherkashina.ni@bstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА С КРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ДИОКСИДОМ КРЕМНИЯ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОТОКА КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

Аннотация. В данной работе изучено воздействие потока кислородной плазмы на полимерные композиты на основе полиалканимида с кристаллическим диоксидом кремния. Обработка полимерных композитов потоком кислородной плазмы проводилась на имитационной установке, в которой поток кислородной плазмы формировался в магнитоплазодинамическом ускорителе. Поток ускоренной кислородной плазмы состоял из атомарных и молекулярных ионов, быстрых атомов и молекул кислорода с энергией до 40 эВ, а также плазменных электронов с энергией 1–5 эВ. Флюенс атомов кислорода в эксперименте составлял $5,4 \times 10^{18}$ ат/см². Представлены результаты потери массы композитов с различным содержанием наполнителя при одинаковом флюенсе атомарного кислорода. Показано, что даже введение 10 мас. % наполнителя снижает массовый коэффициент эрозии атомарного кислорода почти в 2 раза. А при введении 65 мас. % наполнителя массовый коэффициент эрозии снижается в 7 раз. При большем введении кристаллического диоксида кремния массовый коэффициент эрозии не снижается и остается постоянным. Изучена микроскопия поверхности полимерного композита методами растровой (сканирующей) электронной микроскопии до и после обработки кислородной плазмой. Установлено, что обработка кислородной плазмой сильно изменяет структуру поверхности полиалканимидных композитов. Показано, что поверхность исходного композита является гладкой до обработки кислородной плазмой, а морфология поверхности композита, подвергнутого обработке кислородной плазмой становится более шероховатой с наличием «впадин» и «холмов». Очевидно, что морфология поверхности полимерного композита после обработки кислородной плазмой становится намного грубее и значительно модифицирована. Анализ полученных результатов показал повышение устойчивости полимерного композита к воздействию кислородной плазмы при введении предлагаемого наполнителя.

Ключевые слова: кислородная плазма, эрозия поверхности, коэффициент эрозии, атомарный кислород, удельная потеря массы.

Введение. Сегодня большинство спутников запускаются на низких околоземных орбитах (НОО), начиная с 200 до 1000 км. Естественная или искусственная космическая среда НОО обладает множеством препятствий для успешного выполнения миссии космического корабля. Разрушающая среда для полимеров включает атомарный кислород (АК), ультрафиолетовое (УФ) излучение, ионизирующее излучение, сверхвысокий вакуум, термоциклирование, микрометеориты и орбитальный обломки. Из-за отдельных, комбинированных или синергетических взаимодействий с этими космическими опасностями полимеры, в частности, подвергаются эрозии, модификации структуры и шероховатости поверхности [1–2]. Это может привести к необратимой деградации оптических, тепловых, электрических и механических свойств [3–4].

АК производится фотодиссоциацией молекулярного кислорода в верхней атмосфере солнечным излучением с длиной волны, меньшей

или равной 243 нм [5]. АК является основной составляющей остаточной атмосферы на низкоорбитальной орбите. Атомы кислорода имеют плотность от 10^7 до 10^8 атомов / см³ на международной Космической станции (МКС) (около 400 км) с тепловой энергией около 0,1 эВ. Космические аппараты вращаются со скоростью от 7,78 до 8 км/сек на этих высотах. Для столкновения спутник-газ эта орбитальная скорость соответствует энергии ударного газа 0,34, 4,40 и 5,03 эВ для водорода, азота и атомов кислорода соответственно.

Атомный поток кислорода зависит от высоты, солнечной активности, орбитального наклона и времени года. Столкновение с внешними поверхностями пространства транспортные средства, вращающиеся со скоростью 8 км/с, приводят к потоку 10^{14} – 10^{15} атом О/(см²·с). Столкновение АК с поверхностями космических аппаратов с этой энергией инициирует многочис-

ленные химические и физические события на поверхности. Эрозия поверхности, потеря массы, ухудшение механических, тепловых и оптических свойств и изменения химического состава материалов могут быть достигнуты при столкновении с АК [6-9]. Даже если поток атомарного кислорода не разрушает поверхность, окисление поверхности может изменить термические свойства поверхностного слоя [10], что будет означать, что тепловые требования корабля могут быть скомпрометированы в результате изменения равновесных температур.

Существует несколько методов увеличения долговечности полимеров в космосе. Большинство способов защиты полимеров от АК является нанесение тонкопленочного металла или оксида металла на верхнюю поверхность полимеров в качестве поверхностного покрытия [11-12]. Возможные материалы для покрытия включают SiO_2 , Al_2O_3 , ИТО, германий, силикон, алюминий или золото [13-15]. Эти покрытия образуют стабильные оксиды, которые служат для защиты нижних слоев полимера. Требуется только тонкий слой (~ 100 нм) металла или оксида металла для защиты от эрозии АК. Необходимо соблюдать осторожность при реализации этого метода, поскольку защитные покрытия могут создать новые собственные проблемы, такие как силиконовое крекинг. Нанесение толщины более тонкого покрытия помогает уменьшить вероятность взлома или раскалывания.

Поверхности полимеров также могут быть изменены, чтобы сделать их более прочными. Этот метод включает имплантацию атомов металла в поверхность полимера или химическую модификацию поверхности. Например, в полимер имплантируют атомы кремния внутри и вблизи его поверхности [16-17]. Альтернативным способом защиты полимеров может также служить наличие атомов металла внутри полимера, которые образуют стабильный оксид при воздействии с АК [18]. Перечисленные методы хороши для защиты полимеров от эффектов АК, но все же связаны с возможными аномальными эффектами, которые вытекают из добавления других веществ в полимер. Решение проблемы эрозии АК, которая не требует изменения полимеров, заключается в использовании не углеродных полимеров. Пример такого полимера является силосан. Эффективность реакции силосана намного меньше, чем типичных органических полимеров, что уменьшает потребность в защитных покрытиях.

Известно, что атомный кислород действует синергетически с ультрафиолетовым солнечным излучением. Атмосфера Земли отфильтровывает

УФ-излучение с длиной волны ниже 290 нм. Излучение в этом диапазоне длин волн называется вакуумным ультрафиолетовым излучением или ВУФ. Чем меньше длина волны излучения, тем больше энергии она имеет (порядка 6-12 эВ для ВУФ). ВУФ обладает достаточной энергией для разрыва атомных связей в материалах на поверхностях космических аппаратов. Когда материалы подвергаются АК и ВУФ в tandem, ВУФ способен разрывать атомные связи на поверхностях материалов [19-22]. Когда ВУФ разрывает связи, он оставляет атомы готовыми реагировать и окисляться с АК. Таким образом, АК и ВУФ действуют синергетически.

В данной работе изучено воздействие АК на полимерные композиты на основе полиалканмида с кристаллическим диоксидом кремния. Рассмотрено изменение морфологии и потеря массы полимерного композита при воздействии атомарного кислорода.

Методология. В качестве полимерной матрицы для синтеза композитов использовали термопластичный полиалканмид, получаемый поликонденсацией диангидрида пиромеллитовой кислоты с 1,12-додекаметилендиамином.

В качестве наполнителя использовали кристаллический диоксид кремния. Синтез кристаллического диоксида кремния производили гидро-термальным способом в щелочной среде путем автоклавирования в реакторе высокого давления (GSA-0.3). Рабочий объем автоклава способен вместить в себя до 300 мл вещества жидкого состояния, создавать рабочее давление до 70 МПа, рабочий интервал температур до 350 °С. Более подробно способ получения и свойства кристаллического диоксида кремния описаны в [23].

Композитные диски получали следующим образом. Полиалканмид растворяли в полярном апротонном растворителе (толуоле). Растворение полиалканмида необходимо для смешения матрицы и модифицированного наполнителя в жидкой среде с использованием ультразвуковой кавитации. Использование ультразвуковой обработки (частота 22 Гц) позволяет достичь высокой однородности распределения наполнителя в матрице и не дает возможности образованию агломератов частиц наполнителя. После выпаривания растворителя получали порошкообразную смесь матрицы и наполнителя.

Полученную смесь полиалканмида и кристаллического диоксида кремния загружали в стальную пресс-форму, нагревали до температуры размягчения полиалканмида и поддерживали ее в течение часа. После нагрева происходило прессование при высоком давлении 1 ГПа. Полученный композит представлял собой диски

круглой формы диаметром 3 см и толщиной 1–5 мм.

Облучение пучком кислородной плазмы (КП), формируемым в магнитоплазменном ускорителе (рис. 1) проводилось на имитационной установке НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова. Поток ускоренной кислородной плазмы состоял из атомарных и молекулярных ионов,

быстрых атомов и молекул кислорода с энергией до 40 эВ, а также плазменных электронов с энергией 1–5 эВ.

Флюенс атомов кислорода составлял $5,4 \times 10^{18}$ ат/см². Это значение флюенса эквивалент 10 летнего воздействия АК на высоте 800 км при скорости 10–12 км/с.

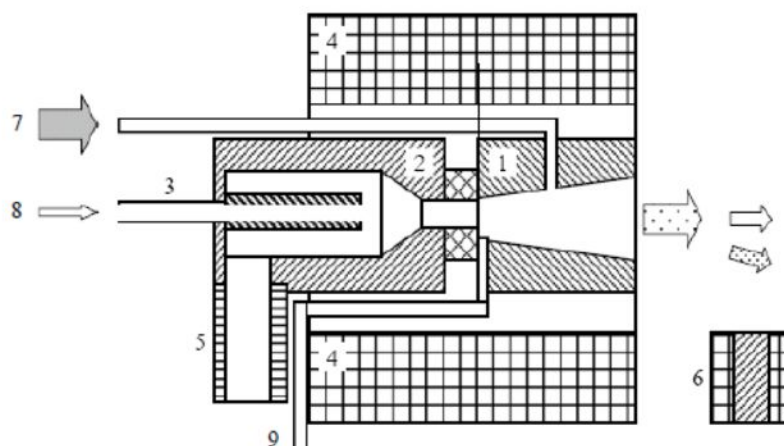


Рис. 1. Схема магнитоплазменного ускорителя:

- 1 – анод; 2 – ферромагнитный промежуточный электрод; 3 – полный термокатод; 4 – соленоид;
5 – патрубок дополнительной вакуумной откачки;
6 – отклоняющий электромагнит; 7 – трубопровод плазмообразующего газа;
8 – трубопровод инертного газа; 9 – тракт подачи защитного газа H₂

Потерю массы образцов после обработки кислородной плазмой фиксировали с использованием аналитических весов ViBRA HT 224RCE, точность измерения прибора по техническому паспорту 0,0001 г.

Сканирующая (растровая) электронная микроскопия была использована для изучения морфологии поверхности до и после обработки кислородной плазмой. Микроскопию проводили с использованием электронного микроскопа TescanMira 3 LMU

Основная часть. Анализ количественной характеристики уноса материала под действием набегающего потока КП оценивался по массовому коэффициенту эрозии R_m , равному отношению удельной потери массы к флюенсу АК. Флюенс атомов кислорода в пучке кислородной плазмы составлял $5,4 \times 10^{18}$ ат/см².

Выход атомной кислородной эрозии, E , представляет собой объем полимера, удаляемого атомарным кислородом на один падающий атом, и определяется выражением

$$E = \frac{\Delta M}{\rho \cdot A \cdot F}, \quad (1)$$

где ΔM – потеря массы, г; ρ – плотность, г/см³; F – флюенс, ат/см²; A – экспонированная площадь образца, см².

В таблице 1 представлены результаты расчета коэффициентов эрозии полимерного композита с различным содержанием кристаллического диоксида кремния.

Можно заметить, что потери массы для всех образцов линейно убывают с увеличением содержания кристаллического диоксида кремния. Это указывает на то, что выход эрозии полимерных композитов уменьшается по мере того, как увеличивается содержание наполнителя. После воздействия АК флюенсом $5,4 \times 10^{18}$ ат/см² массовый коэффициент эрозии для чистого полиалканимида составляет $5,57 \cdot 10^{-18}$ г/атом О, в то время как введение кристаллического диоксида кремния при содержании 10, 30, 70 мас. % составляют $2,80 \cdot 10^{-18}$; $1,89 \cdot 10^{-18}$; $0,72 \cdot 10^{-18}$ г/атом О соответственно.

Отметим, что зависимость значения массового коэффициента эрозии полиалканимидного композита от содержания кристаллического диоксида кремния носит линейный характер. Однако, при введении наполнителя более 30 мас. % скорость снижения потери массы (и значения массового коэффициента эрозии) значительно уменьшается.

Таблица 1

Коэффициенты эрозии полиалканимидного композита с различным содержанием кристаллического диоксида кремния после облучения потоком кислородной плазмы

Содержание наполнителя в композите, %	Удельная потеря массы	Массовый коэффициент эрозии
	$\Delta m/S$, 10^{-4} г/см ²	R_m , 10^{-18} г/атом О
–	30,10	5,57
10	15,12	2,80
20	12,15	2,25
30	10,20	1,89
40	9,15	1,69
50	7,95	1,47
60	6,86	1,27
65	4,25	0,78
70	4,25	0,78

Анализ полученных результатов показал повышение устойчивости полимерного композита к воздействию АК при введении предлагаемого наполнителя – кристаллического диоксида кремния.

Даже введение 10 % наполнителя снижает массовый коэффициент эрозии почти в 2 раза. А при введении 65 % наполнителя массовый коэффициент эрозии снижается в 7 раз. При большем введении кристаллического диоксида кремния массовый коэффициент эрозии не снижается и остается постоянным.

Эрозионный процесс АК с полиалканимидом можно описать путем анализа поверхностного химического состава и морфология поверхности образцов полимера во время обработки АК. Данные указывают что физическое поглощение АК на поверхности образцов приводит к увеличению концентрации О, когда полиалканимид подвергается воздействию потока АК. Затем происходят избирательные химические реакции групп материалов полиалканимида с АК. В начальной реакции АК в основном реагирует с углеродом (С), в результате чего образуются летучие соединения, содержащие С, и концентрация С на поверхности уменьшается. В свою очередь концентрация О увеличивается во время воздействия АК из-за физической адсорбции и химического окисления на поверхности, но образование СО и СО₂ замедляет увеличение концентрации О.

Группы, содержащие N, реагируют одновременно с АК, но более низкая скорость реакции приводит к увеличению концентрации N в течение определенного периода времени. Такие химические реакции являются экзотермическими, поэтому локальная температура поверхности может быть относительно высокой. АК обеспечивает химически индуцированную движущую

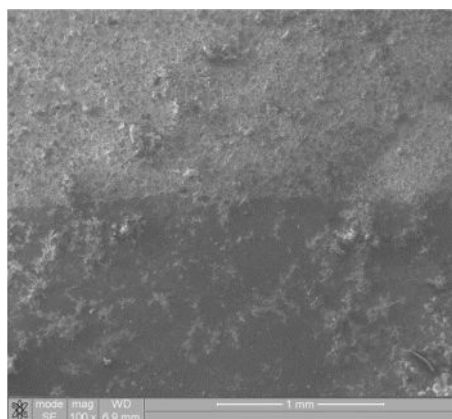
силу на поверхности, которая приводит к диффузии подповерхности С, Н и N к поверхности, где они непрерывно реагируют с АК, что приводит к постоянной потере массы.

Для материалов, которые состоят из значительного количества неорганического наполнителя, их потери массы при обработки кислородной плазмой происходят только от потери полимера, а унос неорганического наполнителя с поверхности не наблюдается. С такими материалами удаляемая толщина становится трудно измеримой, поскольку оставшиеся частицы наполнителя образуют хрупкое пористое покрытие поверх оставшегося заполненного полимерного композита. Поэтому объемный коэффициент эрозии композитов после воздействия кислородной плазмы в данном исследовании не учитывался.

Воздействие АК изменяет структуру поверхности материалов. Это может повлиять на свойства поверхности, которые играют важную роль в покрытиях космических аппаратов. В этой работе мы изучили изменение морфологии поверхности полимерного композита с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM). SEM-изображения полимерного композита с 65 % содержанием наполнителя обработанного наполовину потоком кислородной плазмы при различном увеличении представлены на рисунке 2. На микроскопии поверхности композита (рис. 2) отчетливо видна граница раздела, обработанного КП и исходного композита.

Поверхность исходного образца является гладкой до обработки КП, а морфология поверхности композита, подвергнутого обработке КП становится более шероховатой с наличием «впадин» и «холмов». Это можно объяснить возникающей эрозией полиалканимида под влиянием потока кислородной плазмы, содержащий атомар-

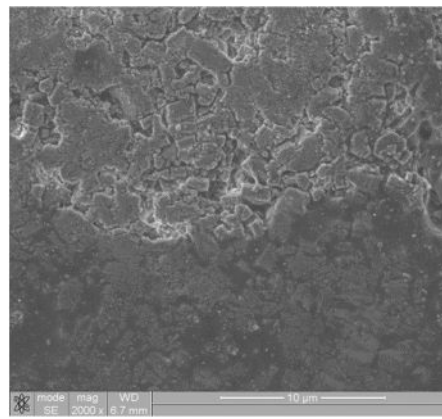
ный кислород, который вступает в реакцию с частицами полимера. В результате чего и происходит унос материала с его поверхности. Как известно, частицы SiO_2 практически не реагируют с атомарным кислородом. Поэтому после обработки композита кислородной плазмой частицы наполнителя не уносятся с поверхности, что подтверждается SEM-изображением на рисунке 2



а

(наблюдаются отдельные частицы SiO_2 не связанные полимером).

Очевидно, что морфология поверхности полимерного композита после обработки кислородной плазмой становится намного грубее и значительно модифицирована. Это показывает, что поверхностная эрозия АК значительна для данного флюенса АК.



б

Рис. 2. SEM-изображения полимерного композита при различном увеличении: а – $\times 100$ раз, б – $\times 2000$ раз; верхние изображения – обработаны КП, нижние – исходные

Коэффициент теплового расширения диоксида кремния составляет $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, а у полиалканимида $5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Из-за большей разницы коэффициента теплового расширения между полиалканимидом и наполнителем, в композите будет образована большая концентрация напряжений при введении большого количества наполнителя. Таким образом, можно ожидать наличие трещин, которые легко будут формироваться в композите. Сравнительно, если ввести слишком мало наполнителя, концентрация напряжений не очевидна. Однако поскольку наполнитель из кристаллического диоксида кремния показывает лучшую ударную вязкость и уплотнение, композиты с предлагаемым наполнителем имеют лучшую устойчивость к эрозии.

Выводы. В ходе проведения исследований был изучен характер эрозии поверхности полимерных композитов на основе полиалканимида и кристаллического диоксида кремния после обработки пучком кислородной плазмы. Установлено, что выход эрозии полимерных композитов уменьшается по мере того, как увеличивается содержание наполнителя. После воздействия АК флюенсом $5,4 \times 10^{18} \text{ ат/см}^2$ массовый коэффициент эрозии для чистого полиалканимида составляет $5,57 \cdot 10^{-18} \text{ г/атом О}$, в то время как введение кристаллического диоксида кремния при содержании 10, 30, 70 мас. % составляют $2,80 \cdot 10^{-18}$; $1,89 \cdot 10^{-18}$; $0,72 \cdot 10^{-18} \text{ г/атом О}$ соответственно.

Анализ полученных результатов показал повышение устойчивости полимерного композита к воздействию КП при введении предлагаемого

наполнителя – кристаллического диоксида кремния.

В работе показано, что обработка КП сильно изменяет структуру поверхности полиалканимидных композитов. Изучено изменение морфологии поверхности полимерного композита с 65 % содержанием наполнителя обработанного потоком кислородной плазмы. Установлено, что поверхность исходного композита является гладкой до обработки КП, а морфология поверхности композита, подвергнутого обработке КП становится более шероховатой с наличием «впадин» и «холмов». Очевидно, что морфология поверхности полимерного композита после обработки кислородной плазмой становится намного грубее и значительно модифицирована. Это показывает, что поверхностная эрозия АК значительна для данного флюенса АК.

Источник финансирования. Грант Российского научного фонда (проект №17-79-100750).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черник В.Н., Пасхалов А.А., Гайдар А.И. Эрозия поверхности полимеров в потоке кислородной плазмы // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009. №3. С. 49–52.
2. Вернигоров К.Б., Алентьев А.Ю., Музафаров А.М., Новиков Л.С., Черник В.Н., Бондаренко Г.Г. Изучение модифицированной струк-

туры полимеров методом травления кислородной плазмой // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. № 1/2. С. 125–132.

3. Samwel S.W. Low Earth Orbital Atomic Oxygen Erosion Effect on Spacecraft Materials // Space Research Journal. 2014. № 7. Pp. 1–13.

4. Shuvalov V.A., Kochubei G.S., Priimak A.I., Pismennyi N.I., Tokmak N.A. Changes of properties of the materials of spacecraft solar arrays under the action of atomic oxygen // Cosmic Research. 2007. No 45. Pp. 294–304.

5. Banks B.A., Miller S.K., de Groh K.K. Low earth orbital atomic oxygen interactions with materials. NASA/TM-2004-213223, AIAA-2004-5638, NASA Glenn Research Center, Cleveland, 2004, 36 p.

6. Tagawa M., Yokota K. Atomic oxygen-induced polymer degradation phenomena in simulated LEO space environments: How do polymers react in a complicated space environment? // Acta Astronautica. 2008. Vol. 62. Is. 2-3. Pp. 203–211. DOI:10.1016/j.actaastro.2006.12.043.

7. Акишин А.И. Воздействие атомарного кислорода на космические материалы // Перспективные материалы. 2006. №6. С. 15–22.

8. Hooshangi Z., Fegghi S.A.H., Saeedzadeh R. The effects of low earth orbit atomic oxygen on the properties of Polytetrafluoroethylene // Acta Astronautica. 2016. Vol. 119. Pp. 233–240. DOI: 10.1016/j.actaastro. 2015.11.031.

9. Скурат В.Е. Изменение интегральной степени черноты фторполимерных материалов в условиях околоземного космического пространства // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2016. Т.17(3). С. 1–10.

10. Hasting D., Garrett H. Spacecraft-Environment Interactions. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1996. 124 p. DOI: 10.1017/CBO9780511525032.

11. Wenyun W.U., Heping L.V., Donghong W., Li D.U. Protection of Kapton from Atomic-oxygen Erosion Using Alumina Film Deposited by Magnetron Sputtering // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 67, 04023. DOI: 10.1051/matec-conf/20166704023.

12. Raja Reddy M., Srinivasamurthy N., Agrawal B.L. Atomic oxygen protective coatings for Kapton film: a review // Surface and Coatings Technology. 1993. Vol. 58. Is. 1. Pp. 1–17. DOI: 10.1016/0257-8972(93)90169-O

13. Duo S.W., Song M.M., Liu T.Z., Li M.S. SiO₂ coatings prepared by sol-gel process protecting silver from atomic oxygen erosion // Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 121–126. Pp. 3044–3047. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.3044.

14. Duo S.W., Song M.M., Luo Y., Liu T.Z., Gao W.M. Atomic oxygen effects of polyimide/silica hybrid films in low earth orbit environment // Advanced Materials Research. 2011. Vol. 177. Pp. 686–689.

15. Han J.H., Kim C.G. Low earth orbit space environment simulation and its effects on graphite/epoxy composites. Composite Structures, 2006. Vol. 72. Pp. 218–226.

16. Модель космоса. Научно-информационное издание. Том 2. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. Новикова Л.С. М.: КДУ, 2007. 1144 с.

17. Акишин А.И., Новиков Л.С., Черник В.Н. Воздействие на материалы и элементы оборудования космических аппаратов вакуума, частиц ионосферной плазмы и солнечного ультрафиолетового излучения. В кн.: Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия. Том 17. Под ред. Новикова Л.С., Панасюка М.И., М.: ЭНЦИТЕХ, 2000. С. 100–138.

18. Iskanderova Z.A., Kleiman J., Morison W.D., Tennyson R.C. Erosion resistance and durability improvement of polymers and composites in space environment by ion implantation // Materials Chemistry and Physics. 1998. Vol. 54. Is. 1-3. pp. 91–97. DOI: 10.1016/S0254-0584(98)00018-2.

19. Никифоров А.П., Терновой А.И., Самсонов П.В., Скурат В.Е. Проблемы изучения механизма взаимодействия вакуумного УФ излучения и гипертермического атомарного кислорода (5 эВ) с полимерными материалами космических летательных аппаратов // Химическая физика. 2002. Т. 21. № 5. С. 73–80.

20. Yokota K., Ikeda K., Tagawa M., Okamoto A. Synergistic effects of vacuum ultraviolet on the atomic oxygen-induced erosion of fluorinated polymer. European Space Agency, (Special Publication) ESA SP. 2006, 23 p.

21. Ghosh L., Fadhilah M.H., Kinoshita H., Ohmae N. Synergistic effect of hyperthermal atomic oxygen beam and vacuum ultraviolet radiation exposures on the mechanical degradation of high-modulus aramid fibers // Polymer. 2006. Vol. 47. Is. 19. Pp. 6836–6842. DOI: 10.1016/j.polymer.2006.07.029

22. Черкашина Н.И., Павленко В.И., Едаменко А.С., Матюхин П.В. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности наноуплотненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближенных к условиям околоземного космического пространства // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6.; URL: <http://www.science->

education.ru/ru/article/view?id=7951 (дата обращения: 19.08.2018).

// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. No 327. 052026.

23. Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Demkina L.N. Influence of Hydrothermal Treatment on Crystalline Form of SiO₂ Synthesized by Sol-Gel Method

Информация об авторах

Черкашина Наталья Игоревна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии. E-mail: cherkashina.ni@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Павленко Вячеслав Иванович, доктор технических наук, профессор, директор Химико-технологического института. E-mail: belpavlenko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сидельников Роман Владимирович, студент кафедры теоретической и прикладной химии. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Беседин Павел Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии стекла и керамики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в августе 2018 г.

© Черкашина Н.И., Павленко В.И., Сидельников Р.В., Беседин П.В., 2018

^{1,*}**Cherkashina N.I., ¹Pavlenko V.I., ¹Sidelnikov R.V., ¹Besedin P.V.**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: cherkashina.ni@bstu.ru

CHANGES OF MORPHOLOGY AND THERMOOPTIC CHARACTERISTICS OF COMPOSITE WITH CRYSTALLINE SILICON DIOXIDE AT VACUUM-THERMAL EXPOSURE

Abstract. In this paper, the effect of the flow of oxygen plasma on polymeric composites based on polyalkanimide with crystalline silicon dioxide is studied. The processing of polymer composites by an oxygen plasma flow was carried out in an imitation apparatus in which the oxygen plasma flow was formed in a magnetoplasmodynamic accelerator. The accelerated oxygen plasma stream consisted of atomic and molecular ions, fast atoms and oxygen molecules with energies up to 40 eV, as well as plasma electrons with an energy of 1-5 eV. The fluence of oxygen atoms in the experiment was 5.4×10^{18} at / cm². The results of mass loss of composites with different filler contents are presented at the same atomic oxygen fluence. It is shown that even the administration of 10 wt. % filler reduces the mass coefficient of erosion of atomic oxygen by almost 2 times. And when administered 65 wt. % of the filler, the mass coefficient of erosion is reduced by 7 times. With a larger introduction of crystalline silicon dioxide, the mass coefficient of erosion does not decrease and remains constant. Microscopy of the surface of a polymer composite by methods of scanning electron microscopy before and after treatment with oxygen plasma has been studied. It has been established that treatment with oxygen plasma greatly changes the surface structure of polyalkaneimide composites. It is shown that the surface of the initial composite is smooth before the oxygen plasma is processed, and the morphology of the surface of the composite treated with oxygen plasma becomes rougher with the presence of "depressions" and "hills". It is obvious that the morphology of the surface of the polymer composite after treatment with oxygen plasma becomes much rougher and significantly modified. An analysis of the obtained results showed an increase in the stability of the polymer composite to the effect of oxygen plasma when introducing the proposed filler.

Keywords: oxygen plasma, surface erosion, coefficient of erosion, atomic oxygen, specific mass loss.

REFERENCES

1. Chernik V.N., Paskhalov A.A., Gaidar A.I. Erosion of the surface of polymers in the flow of oxygen plasma. Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies, 2009, vol. 3. pp. 49–52.

2. Vernigorov K.B., Alentiev A.Yu., Muzafarov A.M., Novikov L.S., Chernik V.N., Bondarenko G.G. A study of the modified structure of polymers by etching with oxygen plasma. Izvestiya Vysshikh

Uchebnykh Zavedenii. Physics, 2011, no ½, pp. 125–132.

3. Samwel S.W. Low Earth Orbital Atomic Oxygen Erosion Effect on Spacecraft Materials // Space Research Journal, 2014, no 7, pp. 1–13.

4. Shuvalov V.A., Kochubei G.S., Priimak A.I., Pismennyi N.I., Tokmak N.A. Changes of properties of the materials of spacecraft solar arrays under the action of atomic oxygen. Cosmic Research, 2007, no 45, pp. 294–304.

5. Banks B.A., Miller S.K., de Groh K.K. Low earth orbital atomic oxygen interactions with materials. NASA/TM-2004-213223, AIAA-2004-5638, NASA Glenn Research Center, Cleveland, 2004, 36 p.

6. Tagawa M., Yokota K. Atomic oxygen-induced polymer degradation phenomena in simulated LEO space environments: How do polymers react in a complicated space environment? Acta Astronautica, 2008, vol. 62, is. 2–3, pp. 203–211. DOI:10.1016/j.actaastro.2006.12.043

7. Akishin A.I. The effect of atomic oxygen on cosmic materials. Perspective materials, 2006, no 6, pp. 15–22.

8. Hooshangi Z., Fegghi S.A.H., Saeedzadeh R. The effects of low earth orbit atomic oxygen on the properties of Polytetrafluoroethylene. Acta Astronautica, 2016, vol. 119, pp. 233–240. DOI: 10.1016/j.actaastro.2015.11.031

9. Skurat V.E. Change in the integral degree of blackness of fluoropolymer materials under near-Earth space conditions. Physico-chemical kinetics in gas dynamics, 2016, vol. 17 (3), pp. 1–10.

10. Hasting D., Garrett H. Spacecraft-Environment Interactions. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1996, 124 p. DOI: 10.1017/CBO9780511525032.

11. Wenyun W.U., Heping L.V., Donghong W., Li D.U. Protection of Kapton from Atomic-oxygen Erosion Using Alumina Film Deposited by Magnetron Sputtering. MATEC Web of Conferences, 2016, vol. 67, 04023. DOI: 10.1051/matec-conf/20166704023.

12. Raja Reddy M., Srinivasamurthy N., Agrawal B.L. Atomic oxygen protective coatings for Kapton film: a review. Surface and Coatings Technology, 1993, vol. 58, is. 1, pp. 1–17. DOI: 10.1016/0257-8972(93)90169-O

13. Duo S.W., Song M.M., Liu T.Z., Li M.S. SiO₂ coatings prepared by sol-gel process protecting silver from atomic oxygen erosion. Applied Mechanics and Materials, 2012, vol. 121–126, pp. 3044–3047. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.3044

14. Duo S.W., Song M.M., Luo Y., Liu T.Z., Gao W.M. Atomic oxygen effects of polyimide/sil-

ica hybrid films in low earth orbit environmen. Advanced Materials Research, 2011, vol. 177, pp. 686–689.

15. Han J.H., Kim C.G. Low earth orbit space environment simulation and its effects on graphite/epoxy composites. Composite Structures, 2006, vol. 72, pp. 218–226.

16. Model of the cosmos. Scientific and information edition. Volume 2. The impact of the space environment on the materials and equipment of space vehicles. Ed. Novikova L.S. Moscow: KDU, 2007. 1144 p.

17. Akishin A.I., Novikov L.S., Chernik V.N. Influence on materials and equipment elements of space vehicles of vacuum, particles of ionospheric plasma and solar ultraviolet radiation. In the book.: New high technology in technology. Encyclopedia. vol. 17. Ed. Novikov L.S., Panasyuka M.I., M.: ENCITEX, 2000. pp. 100–138.

18. Iskanderova Z.A., Kleiman J., Morison W.D., Tennyson R.C. Erosion resistance and durability improvement of polymers and composites in space environment by ion implantation. Materials Chemistry and Physics, 1998, vol. 54, is. 1-3, pp. 91–97. DOI: 10.1016/S0254-0584(98)00018-2

19. Nikiforov A.P., Ternovoi A.I., Samsonov P.V., Skurat V.E. Problems of studying the mechanism of interaction of vacuum UV radiation and hyperthermal atomic oxygen (5 eV) with polymer materials of spacecraft. Chemical Physics, 2002, vol. 21, no. 5, pp. 73–80.

20. Yokota K., Ikeda K., Tagawa M., Okamoto A. Synergistic effects of vacuum ultraviolet on the atomic oxygen-induced erosion of fluorinated polymer. European Space Agency, (Special Publication) ESA SP. 2006, 23 p.

21. Ghosh L., Fadhilah M.H., Kinoshita H., Ohmae N. Synergistic effect of hyperthermal atomic oxygen beam and vacuum ultraviolet radiation exposures on the mechanical degradation of high-modulus aramid fibers. Polymer, 2006, vol. 47, is. 19, pp. 6836–6842. DOI: 10.1016/j.polymer.2006.07.029.

22. Cherkashina N.I., Pavlenko V.I., Edamenko A.S., Matyukhin P.V. Investigation of the influence of vacuum ultraviolet on the morphology of the surface of nanofilled polymer composite materials under conditions close to the conditions of near-Earth space. Modern problems of science and education, 2012, no 6; URL: <http://www.science-education.ru/en/article/view?id=7951> (date of circulation: August 19, 2018).

23. Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Demkina L.N. Influence of Hydrothermal Treatment on Crystalline Form of SiO₂ Synthesized by Sol-Gel Method. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. No 327. 052026.

Information about the author

Cherkashina, Natalia I. PhD, Assistant professor. E-mail: cherkashina.ni@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Pavlenko, Vyacheslav I. DSc, Professor. E-mail: belpavlenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sidelnikov, Roman V. Bachelor student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Besedin, Pavel V. DSc, Professor. E-mail: belpavlenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in August 2018

Для цитирования:

Черкашина Н.И., Павленко В.И., Сидельников Р.В., Беседин П.В. Исследование стойкости полимерного композита с кристаллическим диоксидом кремния к воздействию потока кислородной плазмы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 110–118. DOI: 10.12737/article_5bd95a78957a23.58646223

For citation:

Cherkashina N.I., Pavlenko V.I., Sidelnikov R.V., Besedin P.V. Changes of morphology and thermooptic characteristics of composite with crystalline silicon dioxide at vacuum-thermal exposure. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 110–118. DOI: 10.12737/article_5bd95a78957a23.58646223

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5bd95a79601bb4.49440716

¹Сергиев А.П., ¹Макаров А.В., ^{1,*}Владимиров А.А., ¹Белов Н.В.¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»
Россия, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-он Макаренко, д. 42
*E-mail: vladimirov.al.an@yandex.ru

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Аннотация. Дан анализ методов оценки твердости на основе вдавливания индентора. Представлено краткое описание состояния вопроса о методах оценки твердости металлических изделий. Описаны предложенные ранее и применяемые в настоящее время методы оценки твердости материалов и указаны авторы, предложившие их. Описано две схемы вдавливания шарика по методу Бринелля и приведено сопоставление параметров отпечатка шариками вдавливанием в зависимости от прилагаемой нагрузки. Приведено два алгоритма расчета твердости по методу Бринелля. Представлены схемы отпечатков, показывающих наращивание и вмятие металла по краям отпечатка, которые в большей степени зависят от упруго-пластических свойств материалов. Описаны результаты экспериментальных исследований по изменению глубины невосстановленного и восстановленного отпечатков от величины нагрузки. Указаны основные недостатки метода оценки твердости металлов по Бринеллю, заключающиеся в непостоянстве геометрических размеров отпечатков, неточности определения диаметра отпечатка и исключения из рассмотрения важнейшей характеристики материала – склонности к наклепу. Выявлены существенные недостатки, которые искажают физическую природу деформирования и разрушения материалов. Представлено описание метода измерения твердости металлов, основанного на определении непосредственным измерением глубины восстановленного отпечатка после удаления индентора или расчетом по формулам. Описан метод измерения твердости металлов, основанный на оценке твердости по диаграмме, охватывающей несколько значений. Отмечено, что существует адекватная функциональная зависимость усталости металлов с показателями твердости по методу Бринелля. Установлена необходимость отслеживания момента перехода упругой деформации в пластическую. Указано, что при разработке нового метода измерения твердости необходимо осуществлять сравнение результатов при напряжениях, измеряемых при одинаковых деформациях. Сформулированы перспективные направления оценки физико-механических характеристик материалов.

Ключевые слова: механизм нагружения, упругое последствие, пластичность, склонность к наклепу, истинное сопротивление разрушению.

Интерес к оценке твердости металлических изделий люди проявляли с древнейших времен. Взаимным соударением проверяли твердость топоров, мечей, орудий труда.

Мосс (1822 г.) предложил оценивать твердость царапанием. Кельверт и Джонс (1857 г.) оценивали твердость по величине нагрузки на рычаг для вдавливания усеченного конуса на глубину 3,5 мм после 30 сек. выдержки. Вейд (1865 г.) для оценки твердости применял вдавливание острия пирамидальной формы из закаленной стали при нагрузке 5 т. Бринелль (1900 г.) предложил простой и надежный метод определения твердости вдавливанием стального закаленного шарика Ø10 мм в поверхность образца при нагрузке 500 кг для цветных металлов и 3000 кг

для стали [1]. Мартенс (1905 г.) предложил измерять нагрузку при вдавливании закаленного стального шарика Ø5 мм на глубину 0,05 мм восстановленного отпечатка. Людвик (1907 г.) измерял глубину вдавленного конуса, включая наращенный буртик.

Метод Бринелля получил широкое распространение и был стандартизован в большинстве стран. В дальнейшем в качестве инденторов стали использоваться шарики из твердого сплава диаметрами 1; 2; 2,5; 5 и 10 мм с соответствующим изменением величины нагрузки, дополнительно вводя обозначение HBW (ГОСТ 9012-59; ISO 6506-1:2005).

Твердость по Бринеллю может рассчитываться двумя методами:

1. По методу восстановленного отпечатка твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка

$$HBW = \frac{0,102F}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

где F – приложенная нагрузка, Н; D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

2. По методу невосстановленного отпечатка твердость определяется как отношение приложенной нагрузки к площади, внедренной в материал части индентора

$$HBW = \frac{0,102F}{\pi D h}, \quad (2)$$

где h – глубина внедрения индентора, мм.

За более чем столетний опыт использования метода Бринелля сформулированы формулы для пересчета определения предела прочности σ_B , предела текучести σ_T , твердости по Виккерсу и Роквеллу по результатам замеров твердости по Бринеллю.

Множество технической документации содержит указания по измерению твердости методом Бринелля.

Полный анализ условий испытания твердости шариком был сделан Мейером в 1908 году. Исследование Мейера является одной из наиболее важных работ по теоретическим осмыслениям методов испытания на твердость [2].

Анализ Мейера и многолетний опыт использования метода Бринелля выявили существенные недостатки механизма формирования и оценки параметров отпечатка, не позволяющие в полной мере охарактеризовать весь комплекс механических свойств испытуемого материала.

Основными недостатками метода Бринелля являются следующие:

1. При испытании различных образцов по методу Бринелля получаются отпечатки различных размеров. Хотя при этом и сохраняется закон пропорциональных сопротивлений, однако условия геометрического подобия не удовлетворяются. В качестве примера рассмотрим 2 варианта отпечатков шариком диаметром D , образующих хорды d_1 и d_2 с центральными углами φ_1 и φ_2 .

На рис. 1а показано, что отпечаток диаметром d_1 сделанный шариком с диаметром D на глубину h_1 , при приложенной нагрузке F_1 , имеет угол вдавливания φ_1 . Если тем же самым шариком сделать отпечаток, приложив меньшую нагрузку F_2 , глубина вдавливания будет характеризоваться глубиной h_2 и хордой d_2 , тогда новый отпечаток будет иметь меньший угол вдавливания φ_2 . При этом $h_2 < h_1$ и $d_2 < d_1$. Соответственно новый отпечаток будет иметь меньший центральный угол $\varphi_2 < \varphi_1$, поэтому оба эти отпечатка не будут геометрически подобными.

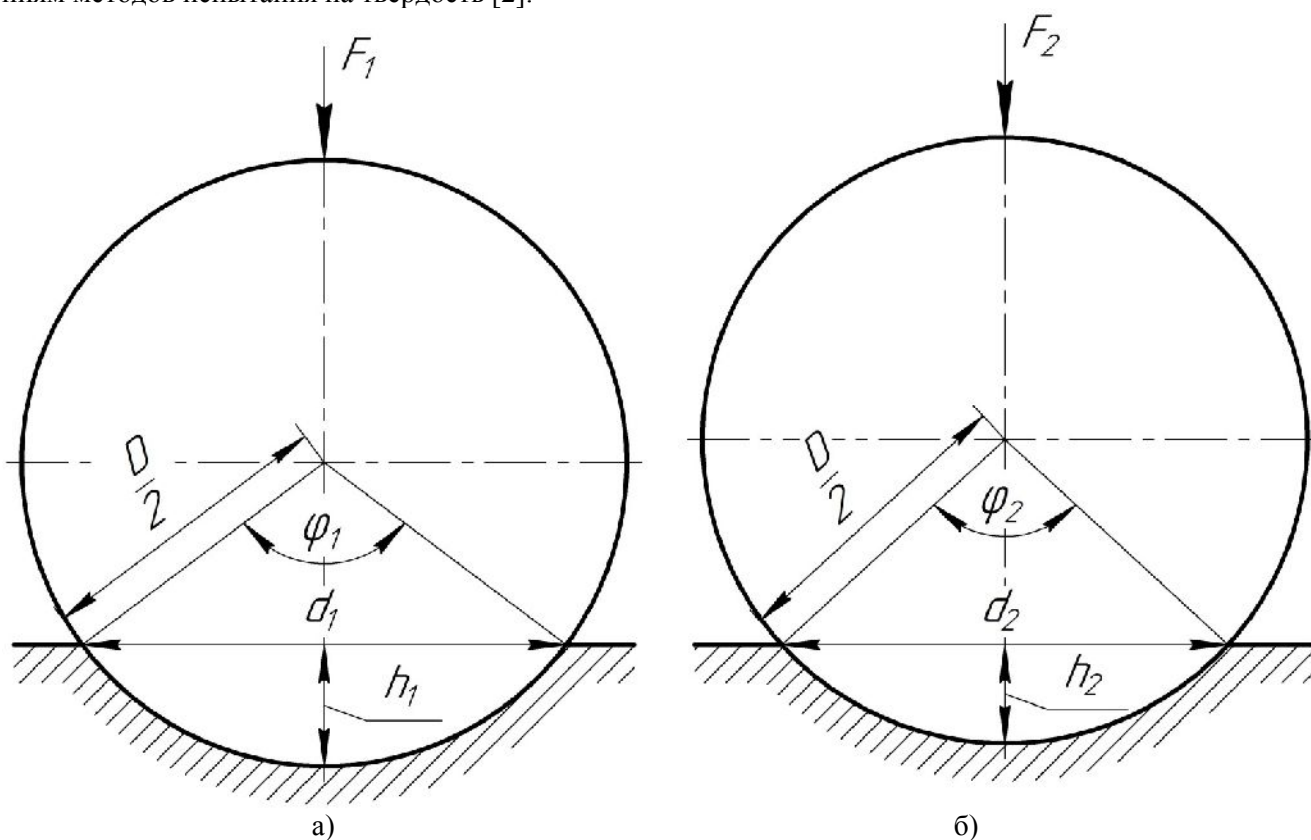


Рис. 1. Схема сопоставления параметров отпечатка шариками вдавливанием на хорду d_1 (а) и вдавливанием на хорду d_2 (б)

2. Основным недостатком измерения твердости по методу Бринелля является неточность определения диаметра отпечатка. В качестве примера рассмотрим отмеченное еще в исследовании Фосса и Брумфильда [3] по особо точному замеру восстанавливаемого отпечатка, сечения отпечатков представлены на рисунке 2. Измерение его истинных размеров затрудняется образованием на испытуемой поверхности второго контура отпечатка, вызываемого пластической деформацией материала. В некоторых случаях в

процессе нагружения деформируемый металл образует выступающую воронку на поверхности образца по краям отпечатка (рис. 2а). Диаметр отпечатка, замеренный на поверхности деформированного металла, может быть примерно вдвое больше диаметра невосстановленного отпечатка. Это явление называется наращиванием.

На рисунках 2а и 2б сплошная жирная линия представляет очертание положения вдавленного шарика относительно исходной поверхности образца и характеризуется параметрами d и h .

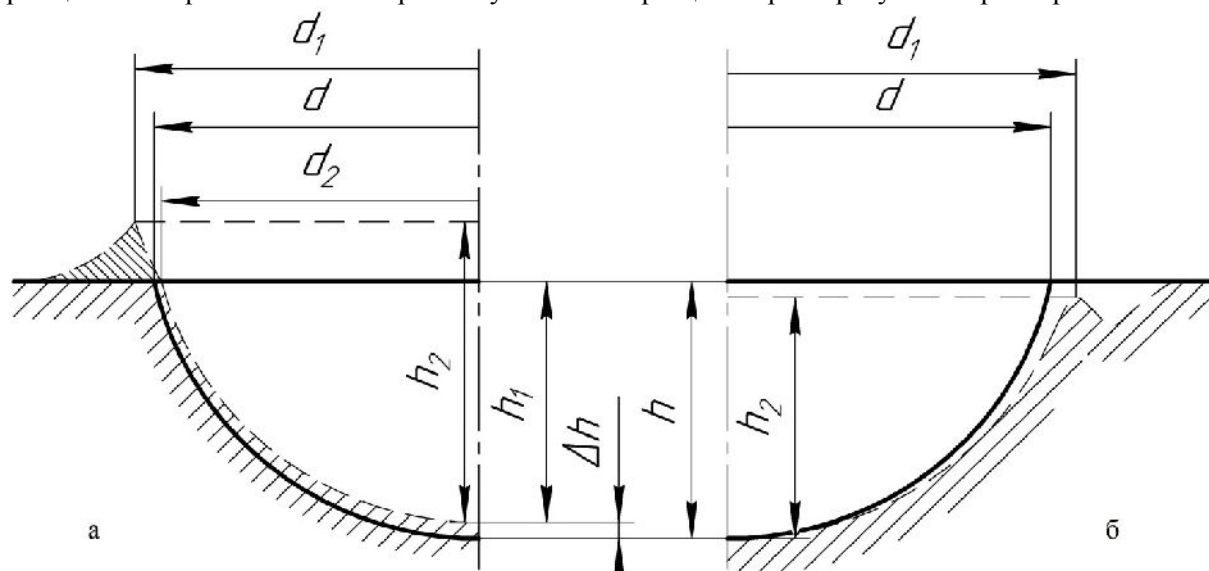


Рис. 2. Отпечаток, показывающий наращивание и вмятие металла по краям отпечатка:

d – диаметр отпечатка от исходной поверхности при вдавливании шарика;

d_1 – диаметр восстановленного отпечатка по вершине; d_2 – диаметр восстановленного отпечатка по исходной поверхности; h – глубина невосстановленного отпечатка от исходной поверхности (действительная глубина вдавливания индентора – шарика); h_1 – глубина восстановленного отпечатка от исходной поверхности;

h_2 – глубина восстановленного отпечатка по вершине

На наращивание выступающей кромки расходуется часть усилия вдавливания, и для получения истинных результатов испытания это следует учитывать при измерении отпечатка, что отмечено было еще в исследовании Мозера [4]. Если явление наращивания не принимается во внимание, то закон пропорционального сопротивления не соблюдается. В этом случае получается отпечаток восстановленного диаметра по вершине d_1 вместо действительного диаметра отпечатка d . Если же при этом производится измерение глубины отпечатка, то возникает аналогичная проблема измерять максимальную глубину восстановленного отпечатка по вершине h_2 , глубину от начальной поверхности испытания h_1 или истинную глубину вдавливания при испытании h . Во многих случаях производится удаление выступа тонким шлифованием, но это вводит новые элементы погрешности.

Иначе формируется отпечаток при испытании металлов, обладающих высокой сжимаемостью. При вдавливании контактирующие поверхности будут стремиться сжаться еще больше, и

противодействие расширению на поверхности отпечатка вызовет растяжение материала за краями отпечатка. Это приведет к образованию отрицательного выступа, или вмятию, схематично показанному на рисунке 2б. в этом случае потеря усилия, затрачиваемого для пластического деформирования не учитывается.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что испытания твердости по Бринеллю не являются достаточно точными и попытки выразить основные физико-механические характеристики материалов через значения твердости по Бринеллю являются некорректными и могут служить только как ориентировочные.

3. Самым существенным недостатком измерения твердости по методу Бринелля является игнорирование упруго-пластических свойств исследуемых материалов, т.е. параметров вязкости. Достаточно сопоставить комплекс физико-механических характеристик чугуна и аустенитной стали при одинаковых значениях твердости по Бринеллю, чтобы убедиться в несовершенстве метода Бринелля.

Восстановленный отпечаток – результат совместного влияния деформации вдавливаемого индентора и упругого последствия, величина которого в большинстве случаев весьма существенна, поскольку характеризует параметры вязкости и способность материала к упрочнению.

Метод оценки невосстановленного отпечатка по ГОСТ 9012-59, обладает всеми недостатками, отмеченными ранее в п. 1 и 2.

Еще в 1905 г. Мартенс [5] экспериментально оценил диапазон расхождения глубины восстановленных h_1 и невосстановленных h отпечатков при последовательном ступенчатом изменении нагрузки при вдавливании 5 мм стального шарика (табл. 1).

Полученные результаты показали весьма существенные различия восстановленных и невосстановленных значений глубины отпечатков.

Таблица 1

Изменение глубины невосстановленного h и восстановленного отпечатка h_1 от величины нагрузки

№ п/п	Нагрузка, кг	Невосстановленная глубина h , мм	Восстановленная глубина h_1 , мм	Величина упруго-пластической деформации Δh	
				мм	%
1	92	0,05	0,029	0,021	42
2	112	0,06	0,037	0,023	38,3
3	141	0,07	0,046	0,024	34,3
4	166	0,08	0,055	0,025	31,1
5	200	0,09	0,064	0,026	28,9

В последующих исследованиях предпринимались многочисленные попытки установить однозначные или обобщенные (комбинированные) параметры, адекватно характеризующие взаимосвязь параметров твердости с физико-механическими характеристиками материалов.

Фундаментальное исследование по определению механических свойств металлов без разрушения выполнено в монографии М.С. Дрозда [6]. Обобщив 118 работ отечественных и зарубежных исследователей, автор предлагает новую единицу твердости, основанную на измерении глубины восстановленного отпечатка h_1 , которая определяется непосредственным измерением после удаления индентора или расчетом по известным формулам.

Глубина невосстановленного отпечатка

$$h = \frac{1}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2}), \quad (3)$$

где D – диаметр шарика, мм; d – диаметр невосстановленного отпечатка, мм.

Тогда

$$h_1 = h - \Delta h, \quad (4)$$

величину упругого восстановления в центре отпечатка можно измерить из опыта, как это делал Мартенс [5] или рассчитать смещение центра отпечатка при вдавливании сферы в плоскую поверхность силой F , как частный случай задачи Герца:

$$\Delta h = 1,77k_1 \sqrt[3]{\frac{F^2}{(k_1 + k_2)}}, \quad (5)$$

где $k_1 = \frac{1-\mu_1^2}{\pi E_1}$, $k_2 = \frac{1-\mu_2^2}{\pi E_2}$; μ_1, μ_2, E_1, E_2 – коэффициенты Пуассона и модули Юнга соответственно материалов образца и шарика; R – радиус шарика.

Необходимо отметить, что предлагаемая методика определения величины восстановленного отпечатка h_1 зависит от точности измерения истинной глубины отпечатка h , на которую влияют три причины, отмеченные ранее.

В основу нового метода определения числа твердости М.С. Дрозд положил принцип геометрического подобия диаметров отпечатков с восстановленной глубиной h_1 , т.е. на любом этапе нагружения $\frac{F-F_0}{Dh_1} = const$, что маловероятно, поскольку постоянство пластической твердости в широком диапазоне изменения нагрузки практически не наблюдается в связи с исчерпанием ресурса пластичности.

При снятии нагрузки происходит упругое восстановление и глубины и диаметра отпечатка. Для различных материалов это восстановление неоднородно, поэтому установление общей зависимости между диаметрами и высотой восстановленных и невосстановленных отпечатков невозможно.

Твердость, измеренная с использованием истинной величины деформации (невосстановленной глубиной h), учитывает упруго-пластические свойства материала, реально определяющие весь комплекс физико-механических характеристик материала.

Принципиальную несостоятельность метода Бринелля Н.Н. Давиденков усматривает в том,

что исключается из рассмотрения важная характеристика материала – склонность к наклепу [7].

Для оценки качества металлов по твердости Н.Н. Давиденков высказал мысль о необходимости оценивать твердость не по какому-то одному частному значению, а по диаграмме, которая охватывает несколько значений. Это исследование удалось осуществить только после того, как в 1949 г. М.П. Марковцом [8] был предложен способ количественного определения степени деформации в лунке по формуле

$$\psi = 1 - \frac{d^2}{D \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2} \right]} = \frac{4h^2}{4h^2 + d^2}, \quad (6)$$

где D – диаметр шарика; d и h – диаметр и глубина восстановленного отпечатка, и разработан прибор для регистрации диаграммы «нагрузка – глубина вдавливания индентора».

Сравнение показателей прочности, определенной при испытаниях на растяжение, и по значениям твердости, проведенное группой авторов [10], показало возможность установления приближенных значений связи механических характеристик, полученных при испытании на растяжение с показателями твердости по методу Бринелля и выявить адекватную функциональную зависимость на усталость.

В работе [11] рассмотрены разновидности износа, взаимодействие трущихся материалов при отсутствии и наличии промежуточных сред. Проанализированы попытки установления взаимосвязи износостойкости с параметрами твердости и другими физико-механическими характеристиками материалов, приведены рекомендации по выбору комплексного метода оценки физико-механических параметров материала, определяющих его износостойкость.

При разработке нового метода измерения твердости совершенно очевидно, что оценка свойств материалов должна происходить сравнением результатов при напряжениях, измеряемых при одинаковых деформациях, так как комплекс физико-механических характеристик материалов определяется значениями параметров пластичности: пределом текучести $\sigma_{0,2}$, коэффициентом Мейера n и упругими постоянными – модулем упругости E и коэффициентом Пуассона μ .

Чрезвычайно важно уловить момент перехода упругой деформации в пластическую, что невозможно установить при одинаковых условиях нагружения, применяемых при испытаниях по методу Бринелля.

Очевидно, что сравнение чисел твердости необходимо производить лишь при напряжениях, измеряемых при одинаковых деформациях по аналогии с испытаниями разрывных образцов.

Проведенный анализ и выявленные направления совершенствования методов определения твердости могут быть положены в основу разработки современного высокоточного метода оценки твердости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brinell J.A., II Congres Int. des Methodes dessai, Paris, 1900.
2. О'Нейль Г. «Твердость металлов и ее измерение», перевод с англ. Н.Д. Агеев, ГНТИ по черной и цветной металлургии. М-Л, 1940, 376 с.
3. Foss, F. and Brumfield, R., PASTM (1922). 22, 312.
4. Moser M., S. und E. (1925). 45, 343.
5. Marten S.A. Berlin, Sizb. (1903) p. 1035.
6. Давиденков Н.Н. Некоторые проблемы механики материалов. Лениздат, 1943. 152 с.
7. Дрозд М.С. Определение механических свойств металла без разрушения. М. «Металлургия», 1965, 170 с.
8. Марковец М.П. Построение диаграммы истинных напряжений по твердости и технологической пробе // Журн. техн. физики. 1949. Т. XIX, вып. 3. С. 371–382.
9. Ишлицкий А.Ю. Осесимметричная задача пластичности и проба Бринелля // Прикл. математика и механика. 1943. Т. 8. С. 201.
10. Мощенок В.И., Лазарова Н.А., Дощечкина И.В., Демченко С.В. Сравнение показателей прочности, определенной при испытаниях на растяжение, и по значениям твердости // Вестник ХНАДУ. 2016. вып. 73.
11. Сергиев А.П., Макаров А.В., Владимиров А.А., Белов Н.В. К вопросу об износостойкости технологического оборудования в машиностроении и металлургии. Russian Scientist. 2018. Т.2 №1. С. 13–22.

Информация об авторах

Сергиев Аркадий Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта. E-mail: tomm_sti_misis@mail.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Россия, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-он Макаренко, д. 42.

Макаров Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта. E-mail: makarov.av@mail.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Россия, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-он Макаренко, д. 42.

Владимиров Александр Андреевич, аспирант кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта. E-mail: vladimirov.al.an@yandex.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Россия, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-он Макаренко, д. 42.

Белов Николай Владимирович, аспирант кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта. E-mail: belov_nv@nlmk.com. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Россия, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-он Макаренко, д. 42.

Поступила в июле 2018 г.

© Сергиев А.П., Макаров А.В., Владимиров А.А., Белов Н.В., 2018

¹*Sergiev A.P., ¹Makarov A.V., ¹Vladimirov A.A., ¹Belov N.V.*

¹*Stary Oskol Technological Institute named after A. A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»
Russia, 309516, Belgorod Region, Stary Oskol, Makarenko, 42*

**E-mail: vladimirov.al.an@yandex.ru*

ANALYSIS OF HARDNESS TEST METHODS AND PROSPECTS OF IMPROVEMENT

Abstract. *The analysis of hardness test methods based on indentation is demonstrated. A brief description of hardness testing of metal is presented. The article describes previously proposed and currently used methods for hardness test of materials and provides the methods' authors. Two schemes for indentation of the ball according to Brinell hardness test are described. Parameters of balls' impression by indentation depending on the applied load are compared. Two algorithms for calculating the Brinell hardness exist. The diagrams show the build-up and indentation of metal along the edges of impression, which depends on the elastic-plastic properties of materials. The results of experimental research on change in restored and unrestored depth of impressions by the load are described. The main drawbacks of Brinell hardness test are shown. They include the inconstancy of geometric dimensions of impression, the inaccuracy of determining impression diameter and the exception to consider the most important material characteristic - the tendency to cold-hardening. Significant deficiencies that distort the physical nature of deformation and fracture of materials are revealed. A description of metals hardness test method is given. It is based on determination of direct measurement of reconstructed depth of impression after the removal of the indenter or by using the calculation formulas. A hardness test method is described. It is based on an assessment of hardness under a chart covering several values. According to the Brinell method, there is an adequate functional dependence of metal fatigue with hardness indicators. The necessity to monitor the moment of transition of elastic deformation into plastic is established. It is indicated, the development of new hardness testing requires comparison of results under the load measured at the same deformations. The perspective directions of assessment the physico-mechanical characteristics of materials are formulated.*

Keywords: *loading mechanism, elastic aftereffect, plastic, additive tendency, actual fracture resistance*

REFERENCES

1. Brinell J.A., II Congres Int. des Methodes dessai, Paris, 1900.
2. O'Hale G. "The hardness of metals and its measurement", translation from English. N.D. Ageev, SNTI on ferrous and non-ferrous metallurgy. M-L, 1940, 376 p.
3. Foss F., Brumfield R., PASTM (1922), 22, 312.
4. Moser, M., S. und E, 1925, 45, 343 p.
5. Marten S.A. Berlin, Sizb. 1903, 1035 p.
6. Davidenkov N.N. Some problems of the mechanics of materials. Lenizdat, 1943, 152 p.
7. Drozd M.S. Determination of mechanical properties of metal without destruction. M. "Metallurgy", 1965, 170 p.
8. Markovets M.P. Construction of a diagram of true stresses by hardness and a process sample. tech. physics, 1949, T. XIX, vol. 3, pp. 371 – 382.
9. Ishlitsky A.Yu. Axisymmetric problem of plasticity and Brinell test. Prikl. mathematics and mechanics, 1943, vol. 8, pp. 201.
10. Moshenok V.I., Lazarova N.A., Doshechkina I.V., Demchenko S.V. Comparison of strengths determined during tensile tests and hardness values. Vestnik Khnadu, 2016, Issue. 73.

11. Sergiev A.P., Makarov A.V., Vladimirov A.A., Belov N.V. Towards the question of wear-resistance of technological equipment in machine

building and metallurgy. Russian Scientist, 2018, vol. 2, no. 1, pp. 13–22.

Information about the author

Sergiev, Arkady P. PhD, Professor. E-mail: tomm_sti_misis@mail.ru. Sary Oskol Technological Institute named after A. A. Ugarov (branch) NUST «MISIS». Russia, 309516, Belgorod Region, Sary Oskol, Makarenko, 42.

Makarov, Alexey V. PhD, Assistant professor. E-mail: makarov.av@mail.ru. Sary Oskol Technological Institute named after A. A. Ugarov (branch) NUST «MISIS». Russia, 309516, Belgorod Region, Sary Oskol, Makarenko, 42.

Vladimirov, Alexander A. Postgraduate student. E-mail: vladimirov.al.an@yandex.ru. Sary Oskol Technological Institute named after A. A. Ugarov (branch) NUST «MISIS». Russia, 309516, Belgorod Region, Sary Oskol, Makarenko, 42.

Belov, Nikolay V. Postgraduate student. E-mail: belov_nv@nlmk.com. Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS». Russia, 309516, Belgorod Region, Sary Oskol, Makarenko, 42.

Received in July 2018

Для цитирования:

Сергиев А.П., Макаров А.В., Владимиров А.А., Белов Н.В. Анализ методов измерения твердости и перспективы их совершенствования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 119–125. DOI: 10.12737/article_5bd95a79601bb4.49440716

For citation:

Sergiev A.P., Makarov A.V., Vladimirov A.A., Belov N.V. Analysis of hardness test methods and prospects of improvement. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 119–125. DOI: 10.12737/article_5bd95a79601bb4.49440716

DOI: 10.12737/article_5bd95a7a8ed4f3.30501937

^{1,*}Герасимова А.А.¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 4

*E-mail: allochka@rambler.ru

ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ДЛЯ ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА НА ОАО «ВМЗ»

Аннотация. В данной работе был рассмотрен технологический процесс толстолистого прокатного стана 5000 ОАО «ВМЗ». Основываясь на возможностях оборудования данного предприятия, в работе была разработана технологическая схема для производства хладостойких газопроводных труб большого диаметра. В расчетах использовали сталь марки 10Г2СФБ. Данная марка стали приведена в соответствии с классом прочности К60 и ГОСТ 10705-80 «Трубы стальные электросварные. Технические условия». Как известно, основными задачами нагрева под прокатку являются снижение прочностных свойств металла, повышение технологической пластичности и обеспечение равномерного температурного поля. Режим нагрева слэбов перед прокаткой выбирали с учетом химического состава сталей, требований к ее качеству, тепловой мощности печей и энергосиловых параметров оборудования. На основании традиционной технологии прокатки толстых листов из углеродистых низколегированных сталей, заканчивается в аустенитной области, однако по мере внедрения технологии контролируемой прокатки микрелегированных сталей появилась возможность снижать температуру нагрева до 1150–1180 °С. В результате, проведенных расчетов был выбран оптимальный температурный режим прокатки по проходам, что приведет в дальнейшем к снижению угара металла в печи и к улучшению качества поверхности слэба.

Ключевые слова: температура, листовой прокат, технология, слэб, угар, качество металла.

Значительный спрос на современном рынке проката имеется на толстый лист, применяемый для производства газопроводных труб большого диаметра. К этой продукции потребителями предъявляются особые требования по однородности структуры, повышенные требования по прочности и качеству поверхности. Главным средством для получения требуемых качеств металла, является технология металлургического производства [1].

За последние 10 лет в России осуществляется строительство современных ТЛС, которые должны полностью обеспечить потребности в толстых листах для труб большого диаметра, судостроения. Ярким примером этого является ТЛС 5000 Выксунского металлургического завода.

Толстолистовой прокатный стан 5000 ОАО ВМЗ производит продукцию, как на отечественный рынок, так и на экспорт. Прокатный лист в основном предназначен для изготовления труб большого диаметра. Стан способен производить листовой прокат для изготовления труб категорий прочности К60, К65, К70 (Х70, Х80, Х100, Х120), в том числе и для труб, эксплуатируемых в сейсмоопасных участках и подводных трубопроводах.

Технология производства стали включает последовательное выполнение следующих операций:

1. Загрузка металлического лома в конвертер в количестве 18–22 % от всей металлической шихты плавки.

2. Заливка жидкого чугуна в конвертер.

3. Продувка металла в конвертере техническим кислородом, подаваемым через фурму, с одновременной продувкой металла нейтральными газами (азотом, аргонном) через донные фурмы (ККЦ-1) и присадкой в конвертер шлакообразующих материалов.

4. Измерение температуры и отбор проб металла и шлака после окончания продувки.

5. Выпуск плавки из конвертера в сталеразливочный ковш, с присадкой науглероживателя и раскислителей (ферросплавов, обеспечивающих получение расплава с химическим составом, близким к среднему составу для данной марки стали).

6. Обработка расплава аргонном в сталеразливочном ковше (внепечная обработка) производится для усреднения и корректировки химического состава и температуры.

Весь цикл получения одной плавки жидкой стали таким способом составляет от 40 до 60 минут.

Производство слэбов осуществляется путем разлива жидкой стали на установках непрерывной разлива стали (УНРС) [2].

Требования к качеству толстолистого проката для производства труб большого диаметра для магистральных газопроводов высокого дав-

ления определяются требованиями к трубам, которые нормируются ГОСТ 19903-74 «Прокат листовой горячекатаный. Сортамент». [3]

В данной работе для производства хладостойких газопроводных труб большого диаметра использовали сталь марки 10Г2СФБ (рис. 1). Данная марка стали приведена в соответствии с

классом прочности К60 и ГОСТ 10705-80 «Трубы стальные электросварные. Технические условия» [4]. Химический состав этой марки приведен в таблице 1.

Механические свойства стали марки 10Г2СФБ приведены в таблице 2.

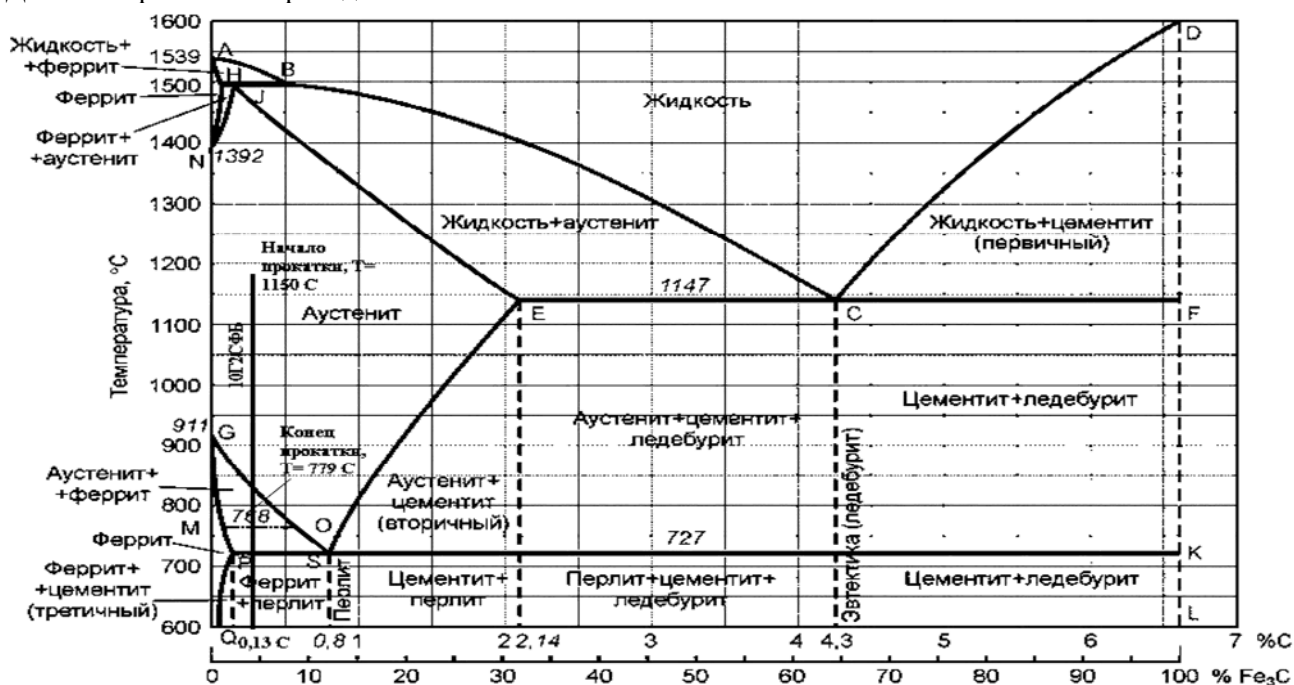


Рис. 1. Сталь 10Г2СФБ на диаграмме железо-углерод

Таблица 1

Химический состав стали марки 10Г2СФБ для хладостойких газопроводных труб большого диаметра

Марка стали	Содержание элемента, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Cu
10Г2СФБ	≤ 0,13	0,25-0,5	1,3 – 1,8	≤ 0,3	≤ 0,02	≤ 0,025	≤ 0,03	≤ 0,01	≤ 0,3

Таблица 2

Механические свойства стали 10Г2СФБ для хладостойких газопроводных труб большого диаметра

Марка стали	Класс прочности	Диаметр трубы, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
10Г2СФБ	K60	1420	590	460	20

Основными задачами нагрева под прокатку являются снижение прочностных свойств металла, повышение технологической пластичности и обеспечение равномерного температурного поля. Режим нагрева слэбов перед прокаткой выбирают с учетом химического состава сталей, требований к ее качеству, тепловой мощности печей и энергосиловых параметров оборудования. Согласно традиционным представлениям слэб из низкоуглеродистых сталей необходимо нагревать до температур 1220–1250 °С [5–9].

На основании традиционной технологии прокатки толстых листов из углеродистых низколегированных сталей заканчивается в аустенитной области, однако по мере внедрения технологии контролируемой прокатки микролегированных сталей появилась возможность снижать температуру нагрева до 1150–1180 °С. Кроме того понижение температуры нагрева способствует снижению угара металла в печи [10, 11].

Исходя из вышеизложенного принимаем температуру нагрева слэба под прокатку равной 1180 °С.

Подберем массу и размеры исходной заготовки. Сталь, используемая при расчете: **10Г2СФБ**, класс прочности К60. В качестве схемы прокатки выбрана поперечная схема прокатки.

Геометрические размеры готового листа:

- толщина листа – 23 мм;
- ширина листа – 4500 мм;
- длина – 20060 мм;
- масса (в обрезанном состоянии) – 17,0 т.

Массу сляба определяют из соотношения (1):

$$G_{\text{сл}} = K_{\text{ф}} \cdot G_{\text{гл}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{ф}}$ – расходный коэффициент; $G_{\text{гл}}$ – масса готового листа, т.

$$G_{\text{сл}} = 1,099 \cdot 17,0 = 18,7 \text{ т}$$

По полученным данным отечественных и зарубежных предприятий для изготовления листов заданной толщины используются непрерывно литые слябы толщиной не менее 250 мм.

В качестве исходной заготовки используем сляб 310×2100×3170 мм.

Теперь определим температурные условия прокатки.

Процесс контролируемой прокатки состоит из двух стадий – черновой (при которой в результате деформации и рекристаллизации получают мелкое равномерное зерно аустенита) и чистовой (при которой происходит наклеп аустенита и его превращение в мелкозернистый феррит). Рекомендуемые температурные интервалы прокатки, стали класса прочности К60 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Рекомендованные температурные интервалы прокатки

Температура нагрева под прокатку, °С	Температура конца черновой стадии, °С	Температура начала чистовой стадии, °С	Температура конца прокатки, °С
1150–1180	1150–1180	820–850	780–800

Расчет изменения температуры производится поэтапно, отдельно для каждой толщины.

Температура перед каждым проходом рассчитывается по формуле (2) Г.П. Иванцова [5]:

$$T_i = \frac{100}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_{i-1}}{100}\right)^3} + \frac{0,055 \cdot \tau_{i-1}}{h_{i-1}}}} - 273, \quad (2)$$

где T_{i-1} – абсолютная температура, °К.

Температура перед первым проходом определяется исходя из температуры нагрева под прокатку и времени транспортировки сляба до клетки, она рассчитывается по формуле (3):

$$\tau_0 = \frac{L_0}{\vartheta} + \tau_{\text{п}}, \quad (3)$$

где L_0 – длина рольганга между печами и клетью, $L_0 = 105$ м; ϑ – скорость движения рольганга, скорость движения рольганга, $\vartheta = 2$ м/с; $\tau_{\text{п}}$ – время паузы перед клетью, $\tau_{\text{п}} = 2$ с.

Время транспортировки сляба от печи до клетки:

$$\tau_0 = \frac{105}{2} + 2 = 54,5 \text{ с.}$$

Температуру будем определять в момент нахождения половины длины раската в месте выхода металла из валков, поэтому:

$$\tau_1 = \tau_0 + \tau'_1, \quad (4)$$

$$\tau'_i = l_{i-1} / 2\vartheta_{i-1}, \quad (5)$$

$$\tau_1 = 54,5 + \frac{2,82}{2 \cdot 1,9} = 55,3 \text{ с.}$$

Температура в первом проходе:

$$T_1 = \frac{100}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1423}{100}\right)^3} + \frac{0,055 \cdot 55,3}{250}}} - 273 = 1150,3 \text{ °С.}$$

Время в последующих проходах рассчитывается по формуле (6):

$$\tau_i = \tau'_i + \tau''_i + \tau_{\text{п}} + \tau_{\text{к}}, \quad (6)$$

где $\tau'_i = l_{i-1} / 2\vartheta_{i-1}$; $\tau''_i = l_i / 2\vartheta_i$; $\tau_{\text{п}}$ – время паузы (для ТЛС 5000 $\tau_{\text{п}} \approx 4$ с); $\tau_{\text{к}}$ – время кантовки (для ТЛС 5000 $\tau_{\text{к}} \approx 13$ –15 с).

Температура во втором проходе:

$$\tau'_2 = \frac{3,287}{2 \cdot 1,9} = 0,8 \text{ с;}$$

$$\tau''_2 = \frac{3,858}{2 \cdot 2,2} = 0,9 \text{ с;}$$

$$\tau_{\text{п}} = 4 \text{ с;}$$

$$\tau = 0,8 + 0,9 + 4 = 5,7 \text{ с.}$$

$$T_2 = \frac{100}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1394}{100}\right)^3} + \frac{0,055 \cdot 5,7}{182,8}}} - 273 = 1123,8 \text{ °С.}$$

Аналогично рассчитываем температуру в последующих проходах. Результаты температурного режима прокатки в черновой и чистовой стадии приведены в таблице 4.

Из таблицы видно, что температурные интервалы по стадиям совпадают с рекомендованными (см. таблицу 3). График распределения

температуры по проходам представлен на рисунке 2.

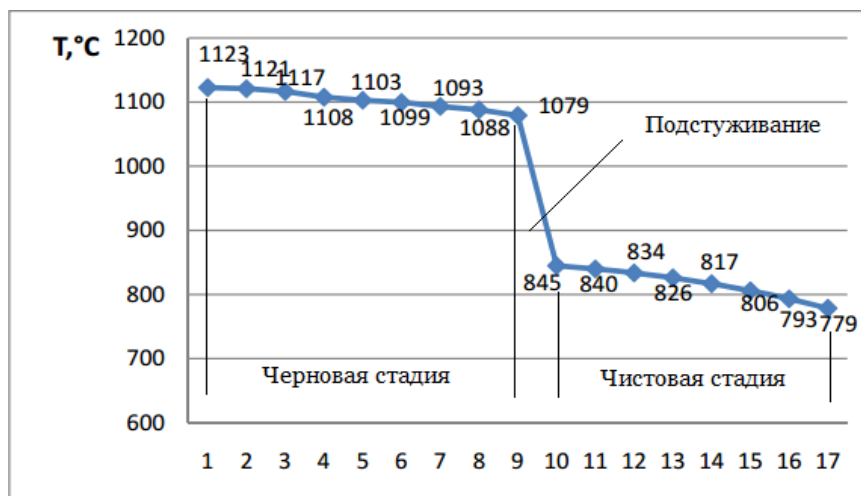


Рис. 2. График распределения температуры прокатки по проходам

Таблица 4

Результаты температурного режима прокатки

Номер прохода	h, мм	L, мм	τ , с	T, °C
0	310,0	3170,0		1150,0
Черновая стадия				
1	279,0	3522,1	55,3	1123,3
2	248,3	3958,8	5,7	1121,8
3	216,0	4550,3	5,9	1117,5
Кантовка 90°				
4	181,5	2543,2	20,8	1108,1
5	152,5	3027,4	5,5	1103,4
6	125,0	3691,2	5,7	1099,4
7	102,3	4513,1	5,9	1093,3
8	83,0	5564,5	6,1	1088,1
9	66,8	6912,2	6,5	1079,6
Подстуживание				
Чистовая стадия				
10	56,8	8277,6	272,0	845,3
11	48,4	9466,2	7,0	840,1
12	41,4	11177,7	7,4	834,3
13	35,4	13085,3	7,7	826,5
14	30,5	15217,8	8,2	817,8
15	26,4	17590,6	8,6	806,2
16	24,2	19018,8	8,6	793,4
17	23,0	20060,1	9,0	779,0

Примечание: h, мм – толщина раската; L, мм – длина раската; τ , с – время прокатки; T, °C – температура прокатки.

Выводы. В данной работе была рассмотрена работа ТЛС 5000 ОАО ВМЗ. Основываясь на возможностях оборудования данного предприятия была разработана технологическая схема производства толстых листов стали класса прочности К60 марки 10Г2СФБ для хладостойких труб большого диаметра и был выбран оптимальный температурный режим прокатки по проходам, что способствует снижению угара металла в печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эфрон Л.И. Металловедение в “большой” металлургии. Трубные стали. М.: Металлургиздат, 2012. 694 с.
2. Техническая документация стана 5000 ОАО «ВМЗ».
3. ГОСТ 19903-74. «Прокат листовой горячекатаный. Сортамент».
4. ГОСТ 10705-80 «Трубы стальные электросварные. Технические условия».

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. Справочник. М. Metallurgiya, 1986. 430 с.

6. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. М.: Metallurgiya, 1985. 376 с.

7. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. М.: Metallurgiya, 1987. 480 с.

8. Солнцев Ю.П., Ермаков Б.С., Слепцов О.И. Материалы для низких и криогенных температур: Энциклопедический справочник. – СПб.: Химиздат, 2008. 768 с.

9. Development of a Method for Calculating the Thickness of Thermal-Spray Aluminum Coating Used to Protect Low-Alloy Steel During Heating for Rolling. A. G. Radyuk, A. A. Gerasimova // Metallurgist, Vol.62, No. 1-2, May, 2018 (Russian Original No.1-2, 2018) P. 176–180.

10. Рашев Ц. Высокоазотистые стали. Metallurgiya pod davleniem. Sofia: Izd. Bolgarskoy AN, 1995, 270 с.

11. Svyazhin A.G., Siwka J., Kaputkina L.M. High-nitrogen steels – The current state and development trends. // Proceed. Int. Conf. Advanced Steels. – China, Beijing. Metallurgical Industry Press. 2010. P. 352–356.

Информация об авторах

Герасимова Алла Александровна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: allochka@rambler.ru. Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 4.

Поступила в июле 2018 г.

© Герасимова А.А., 2018

^{1,*}**Gerasimova A.A.**

¹National research technological University "MISIS"
Russia, 119991, Moscow, Leninsky prospect, 4

*E-mail: allochka@rambler.ru

SELECTION OF TEMPERATURE CONDITIONS FOR THICK-PLATE ROLLING MILL AT VYKSA STEEL WORKS

Abstract. The technological process of plate rolling mill 5000 at "Vyksa Steel Works" is considered. The technological scheme for the production of large-diameter cold-resistant gas pipes, based on the capabilities of enterprise equipment, is developed. The 10G2SFB steel is used in the calculation. The given steel corresponds to grades class K60 and GOST 10705-80 "Electrowelded steel pipes. Specifications". It is known, the main tasks of heating for rolling are to reduce strength properties of the metal, to increase a technological plasticity and to ensure a uniform temperature field. The mode of slab heating before rolling is chosen in terms of steel chemical composition, the quality requirements, the thermal capacity of furnaces and the power parameters of equipment. On the basis of traditional technology, rolling thick sheets of low alloy carbon steels end in the austenitic part, however, with the introduction of technology controlled rolling of micro-alloyed steels, it is possible to reduce the heating temperature to 1150-1180 °C. In result of performed calculation, the optimal temperature mode of rolling through the aisles is chosen. It reduces the metal loss in the furnace and improves the quality of the slab surface.

Keywords: temperature, sheet rolling, technology, slab, waste, quality of metal.

REFERENCES

1. Efron L.I. Metallurgy in "big" metallurgy. Pipe steel, Moscow, Metallurgizdat, 2012, 694 p.

2. Technical documentation of mill 5000 at Vyksa steel works.

3. GOST 19903-74. "Hot-rolled sheet rolling. Assortment"

4. GOST 10705-80 "steel electro-welded Pipes. Technical conditions"

5. Konovalov Y.V., Ostapenko, A.L., Ponomarev V.I. Calculation of parameters of leaf rolling. Handbook, Moscow, Metallurgy, 1986, 430 p.

6. Kopolev A.A. Design and calculation of machines and mechanisms of rolling mills. Moscow, Metallurgy, 1985, 376 p.

7. Tselikov A.I., Polukhin P.I., Grebenik V.M. etc. Machines and units for the production and finishing of rolled products. Moscow, Metallurgy, 1987, 480 p.

8. Solntsev Yu.P., Yermakov O.S., Sleptsov O.I. Materials for low and cryogenic temperatures: Encyclopedic reference book, SPb, Khimizdat, 2008, 768 p.

9. Development of a Method for Calculating the Thickness of Thermal-Spray Aluminum Coating Used to Protect Low-Alloy Steel During Heating for

Rolling. A.G. Radyuk, A.A. Gerasimova. Metallurgist, 2018, vol. 62, no. 1-2. May, pp. 176–180.

10. Rashev Ts. High steel. Metallurgy under pressure, Sofia, Publishing House. Bulgarian Academy of Sciences, 1995, 270 p.

11. Svyazhin A.G., Siwka J., Kaputkina L.M. High-nitrogen steels – The current state and development trends. Proceed. Int. Conf. Advanced Steels. China, Beijing. Metallurgical Industry Press, 2010, pp. 352–356.

Information about the author

Gerasimova, Alla A. PhD, Assistant professor. E-mail: allochka@rambler.ru. National research technological University "MISIS" (Moscow). Russia, 119991, Moscow, Leninsky prospect, 4.

Received in July 2018

Для цитирования:

Герасимова А.А. Выбор температурного режима для толстолистового прокатного стана на ОАО «ВМЗ» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 126–131. DOI: 10.12737/article_5bd95a7a8ed4f3.30501937

For citation:

Gerasimova A.A. Selection of temperature conditions for thick-plate rolling mill at vyksa steel works. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 126–131. DOI: 10.12737/article_5bd95a7a8ed4f3.30501937

DOI: 10.12737/article_5bd95a7b37fd98.85598287

¹Логачев И.Н., ^{1,*}Семикопенко И.А., ¹Смирнов Д.В., ¹Беляев Д.А., ¹Ханин С.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: semikopenko.ia@bstu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАТРУБКА РЕЦИКЛА ВОЗДУХА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЕЗИНТЕГРАТОРА

Аннотация. В настоящее время дезинтеграторы являются одним из видов оборудования, применяемого при помоле, смешении и активации ряда материалов. В данной статье предложено описание конструкции дезинтегратора с патрубком рецикла материала, обеспечивающим необходимую тонкость продукта помола. Патрубок рецикла содержит отводной канал для отделения тонкого продукта, расположенный в верхней части конструкции. Высокая частота вращения роторов дезинтегратора обеспечивает измельчение материала в рабочей камере и получение высокой скорости рециркулируемого двухкомпонентного потока «воздух – частицы материала». Данный процесс требует дополнительных затрат мощности электродвигателей на преодоление аэродинамического сопротивления конструктивных элементов патрубка рецикла. Используя фундаментальные труды профессора И.Е. Идельчика, в статье получено аналитическое выражение, позволяющее определить суммарный напор, создаваемый дезинтегратором, через сумму потерь во всех ранее рассмотренных элементах патрубка рецикла, учитывая его аэродинамическое сопротивление. Представлена расчетная схема для определения аэродинамического сопротивления в патрубке рецикла дезинтегратора. При проведении экспериментов определялись потери давления, учитывая коэффициенты местного сопротивления. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что суммарный напор зависит от конструктивных и технологических параметров патрубка рецикла дезинтегратора. Результаты подстановки численных значений данных параметров показывают, что основные потери давления приходятся на преодоление сопротивления поворотной заслонки. При площади поперечного (в проекции на вертикальную плоскость) сечения сегмента с высотой $h = 8$ мм, через которую проходит реверсируемый поток воздуха, данные потери составляют 84,5%, при этом потери давления на сопротивление кольцевой трубы составляют 14,1 %.

Ключевые слова: дезинтегратор, сопротивление, патрубок, материал.

Экспериментальная установка дезинтегратора для обеспечения необходимой тонкости помола оснащена патрубком рецикла материала (обеспечивающего его многократное пребывание в камере помола), представляющей собой цилиндрический корпус с двумя патрубками: на входе (загрузочный) и на выходе (разгрузочный). Значительная скорость вращения роторов (более 3000 мин⁻¹) обеспечивает не только тонкое измельчение, но и вызывает высокие скорости рециркулируемого двухкомпонентного потока «воздух-частица материала», что требует большой мощности используемых электродвигателей на преодоление аэродинамического сопротивления элементов патрубка рецикла (рис. 1).

Оценим величину сопротивления патрубка рецикла с помощью расчетов, используя фундаментальную работу профессора Идельчика И.Е. [1].

Определим потери давления при плавном повороте воздуха в резиновом рукаве 1. Коэффициент сопротивления рукава:

$$\zeta_p = \zeta_{mp.p.} + \zeta_{m.p.}, \quad (1)$$

где $\zeta_{mp.p.}$ – сопротивление на трение в рукаве;

$\zeta_{m.p.}$ – местное сопротивление на поворот потока.

Сопротивление на трение в рукаве (1):

$$\zeta_{mp.p.} = \lambda_p \frac{l_p}{d_0}, \quad (2)$$

где λ_p – коэффициент гидравлического сопротивления; l_p – длина рукава; d_0 – диаметр переходника (конфузора).

Учитывая значительные величины скорости воздуха в резиновом рукаве ($u_0 = 15 \div 19,4$ м/с) и большое число Рейнольдса, которое составляет (при $d_0 = 0,05$ м и $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с при $t_0 = 20$ °С):

$$Re = \frac{u_0 \cdot d_0}{\nu} = \frac{15 \cdot 0,05}{15 \cdot 10^{-6}} \div \frac{19,4 \cdot 0,05}{15 \cdot 10^{-6}} = 50000 \div 64700,$$

коэффициент гидравлического сопротивления λ_p уменьшается [1, 2]:

$$\lambda_p = \frac{A}{Re^{0,265}} = \frac{0,45}{(5 \cdot 10^4)^{0,265}} \div \frac{0,45}{(6,47 \cdot 10^4)^{0,265}} = 0,0256 \div 0,0239.$$

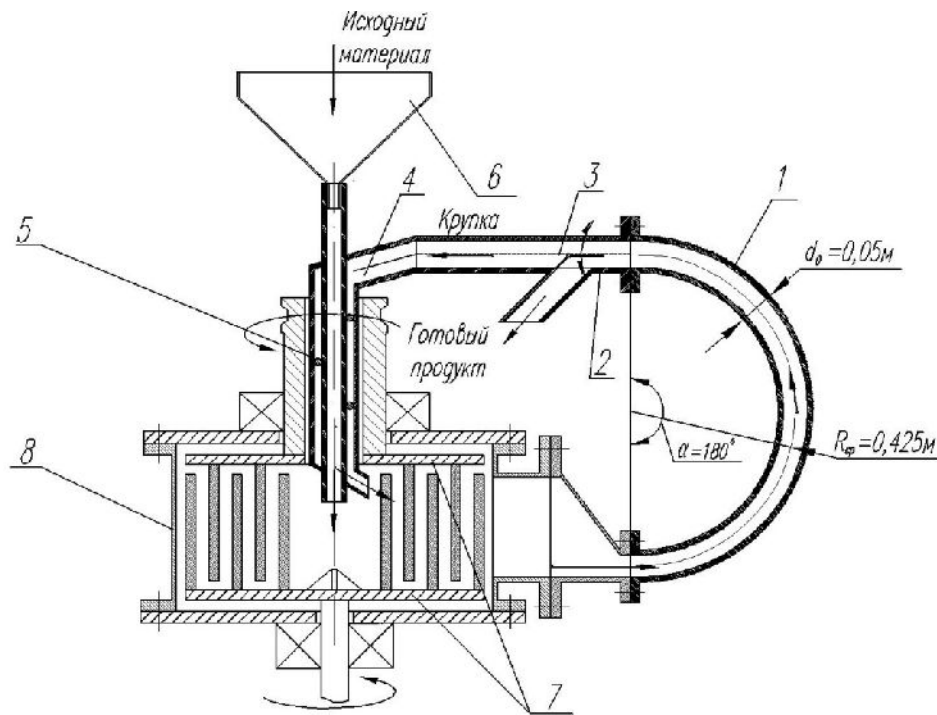


Рис. 1. Расчетная схема для определения аэродинамического сопротивления в патрубке рецикла дезинтегратора:

- 1 – рукав из гладкой резины при $d_0 = 0,05$ м, $\alpha = 180^\circ$; $R_{сп} = 0,425$ м; 2 – стальной тройник;
 3 – поворотная заслонка; 4 – переходник (конфузор) с $d_0 = 0,05$ м на квадратное сечение $0,03 \times 0,03$ м;
 5 – кольцевая труба с наружным диаметром $d_n = 0,045$ м и внутренним $d_v = 0,029$ м;
 6 – загрузочный патрубок с внутренним диаметром $d_n = 0,025$ м и толщиной стенок $0,002$ м;
 7 – роторы камеры помола; 8 – корпус

Местное сопротивление определяется по формуле [1, 3, 4]:

$$\zeta_{м.р} = A_1 \cdot B_1 \cdot C_1, \quad (3)$$

где A_1 – коэффициент, учитывающий угол изогнутости патрубка, определяемый по формулам [4], при $\alpha > 100^\circ$:

$$A_1 = 0,7 + 0,35 \cdot \frac{\alpha}{90^\circ}, \quad (4)$$

B_1 – коэффициент, учитывающий влияние относительного радиуса кривизны патрубка, где $\alpha > 100^\circ$, определяется по формуле [1]:

$$B_1 = \frac{0,21}{\sqrt{\frac{R_{сп}}{d_0}}}, \quad (5)$$

C_1 – коэффициент, учитывающий влияние относительной вытянутости поперечного сечения патрубка $\frac{a_0}{b_0}$, в нашем случае для круглого сечения $C_1 = 1$.

Потери давления на первом участке патрубка рецикла определяются по формуле:

$$\Delta P_1 = \zeta_p \frac{u_0^2}{2} \rho, \quad (6)$$

где ρ – плотность воздуха, $\rho = 1,2$ кг/м³.

Определим потери давления на втором участке патрубка рецикла (тройник с поворотной заслонкой). Скорость в нижнем отводе тройника $u_0 \approx 0$, и сопротивление на трение ствола тройника пренебрежимо мало в силу малой его длины. Наибольшая скорость воздуха в зазоре между поворотной заслонкой и стенкой ствола тройника:

$$u_z = u_0 \cdot \frac{S_0}{S_z} = \frac{Q_0}{S_z}, \quad (7)$$

где S_0 – площадь поперечного сечения ствола тройника ($d_0 = 0,05$ м); S_z – площадь поперечного (в проекции на вертикальную плоскость) сечения сегмента с высотой $h = 8$ мм, через которую проходит реверсируемый поток воздуха с расходом Q_0 , (предполагая, что скорость воздуха в нижнем отводе тройника пренебрежимо мала), м².

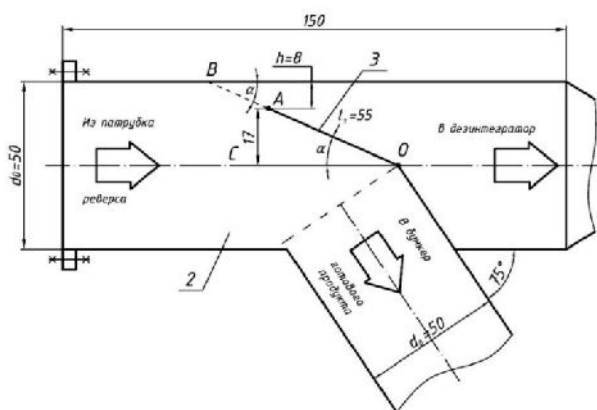


Рис. 2. Схема тройника 2 с поворотной заслонкой (рассекателем) 3

Коэффициент местного сопротивления поворотной заслонки, отнесенный к скоростному давлению в патрубке рецикла диаметром $d_0 = 0,05$ м, определяется по формуле [5]:

$$\zeta_3 = \Delta P_3 / \rho \cdot \frac{u_3^2}{2}, \quad (8)$$

где ΔP_3 – потери давления на поворотной заслонке, определяемые по формуле:

$$\Delta P_3 = \zeta_3 \frac{u_0^2}{2} \rho. \quad (9)$$

Определим потери давления в переходнике 4. Для инженерных расчетов общий коэффициент сопротивления переходников представляется

$$\zeta_{м.к.} = \frac{\Delta p}{\rho u_k^2} = (-0,0125n_0^4 + 0,0224n_0^3 - 0,00723n_0^2 + 0,00444n_0 - 0,00745) \cdot (\alpha_p^3 - 2\pi\alpha_p^2 - 10\alpha_p), \quad (11)$$

где $\alpha_p = 0,01745\alpha$ рад (где α измеряется в градусах); $n_0 = \frac{F_k}{S_0}$, (F_k – площадь квадратного отверстия переходника 4).

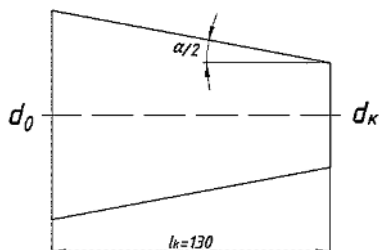


Рис. 3. Расчетная схема переходника (конфузора) между патрубком рецикла и кольцевой трубой

Коэффициент сопротивления на трение рекомендуется определять по формуле для труб (при $\alpha < 10^\circ$):

в виде суммы коэффициентов местных сопротивлений ($\zeta_{м.к.}$) и коэффициента сопротивления трения ($\zeta_{тр.к.}$):

$$\zeta_k = \frac{\Delta p_k}{\rho u_k^2} = \zeta_{м.к.} + \zeta_{тр.к.}, \quad (10)$$

где Δp_k – потери давления; u_k – скорость воздуха в переходнике 4.

Величина коэффициента местного сопротивления при турбулентном течении определяется по формуле [6, 1]:

$$\zeta_{тр.к.} = \lambda_m \frac{l_k}{d_k}, \quad (12)$$

где l_k – длина переходника (конфузора 4); d_k – меньший диаметр переходника; λ_m определяется по формуле [1, 7]:

при $Re = 6,5 \cdot 10^4$ и $\bar{\Delta} \approx \frac{0,12}{d_k} = \frac{0,12}{30} = 0,004$;

$$\lambda_t = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(0,004 + \frac{68}{65 \cdot 10^3} \right)^{0,25} = 0,0293. \quad (13)$$

Потери давления в переходнике 4 определяются по следующей формуле:

$$\Delta P_{\kappa} = \zeta_{\kappa} \frac{u_{\kappa}^2}{2} \rho. \quad (14)$$

Максимальные потери давления реализуются при выходе воздуха из переходника в открытое пространство (в этом случае $\zeta = 1,0$).

$$\Delta P_e^{\max} = 1 \cdot \left(\frac{Q_0}{F_k} \right)^2 \frac{\rho}{2}. \quad (15)$$

Определим потери давления в кольцевой трубе (позиция 5 рисунка 1) со спиральными ребрами.

Величина коэффициента сопротивления трубы кольцевого поперечного сечения определяется [8, 9, 1] по формулам:

$$\zeta_{\kappa.m.} = k_{\kappa} \lambda \frac{H_c}{D_0}; \quad (16)$$

где H_c – высота спирали; $H_c = 2T$. D_0 – внутренний диаметр кольцевой трубы; T – шаг витка спирали; λ определяется по формуле (13); k_{κ} – коэффициент, определяемый по формуле:

$$k_{\kappa} = \left(1 + \frac{20}{\left(\frac{T}{D_0} \right)^2} \right) \cdot k'_{\text{кол}} = \left(1 + \frac{20}{\left(\frac{140}{45} \right)^2} \right) = 3,066 \cdot k'_{\text{кол}}. \quad (17)$$

Коэффициент $k'_{\text{кол}}$ определяется по графику (а) [1].

Гидравлический диаметр определяем из рис. 4:

$$D_z = D_0 \frac{\left(1 - \frac{d_s}{D_0} \right) \left[2 \cdot \frac{T}{\pi d_s} \cdot \frac{d_s}{D_0} \cdot \frac{A-B}{1 - \frac{d_s}{D_0}} - \frac{6s}{\pi D_0} \right]}{\frac{T}{\pi d_s} \cdot \frac{d_s}{D_0} \left(\frac{1}{A} + \frac{d_s}{B} \right) + \frac{3}{\pi} \left(1 - \frac{d_s}{D_0} \right) - \frac{6s}{\pi D_0}}; \quad (18)$$

$$A = \sqrt{1 + \left(\frac{T}{\pi d_s} \cdot \frac{d_s}{D_0} \right)^2}; B = \frac{d_s}{D_0} \sqrt{1 + \left(\frac{T}{\pi d_s} \right)^2} \quad (19)$$

Определим скорость W_0 в поперечном сечении спирального канала кольцевой трубы. Для этого определим расстояние между ребрами h_0 (см. развертку спирального канала на рис. 4).

$$h_0 = \sqrt{m \cdot n}, \quad (20)$$

При зазоре между цилиндрическими поверхностями δ_p , площадь поперечного сечения для

$$\sum P = \sum \Delta P_0 = \zeta_p \cdot \left(\frac{Q_0}{S_0} \right)^2 \cdot \frac{\rho}{2} + \zeta_3 \cdot \left(\frac{Q_0}{S_0} \right)^2 \cdot \frac{\rho}{2} + \zeta_k \cdot \left(\frac{Q_0}{F_k} \right)^2 \cdot \frac{\rho}{2} + (\zeta_{\kappa.m.} + \zeta_{\text{вых.д}}) \cdot \frac{W_0^2}{2} \cdot \rho. \quad (27)$$

спирального потока воздуха определяется следующим образом:

$$S_{0.k.k} = \delta_p \cdot h_0. \quad (21)$$

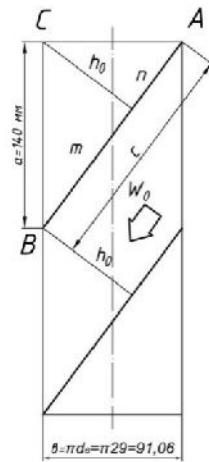


Рис. 4. Развертка спирального канала

Гидравлический диаметр винтового канала определяется как:

$$D_{z.в.} = \frac{4 \cdot S_{0.k.k.}}{2 \cdot (\delta_0 + h_0)}. \quad (22)$$

Тогда средняя скорость:

$$W_0 = \frac{Q_0}{S_{0.k.k.}}. \quad (23)$$

Потери давления в кольцевой трубе со спиральными ребрами:

$$\Delta P_{\kappa.m.} = \zeta_{\kappa.m.} \cdot \left(\frac{Q_0}{S_0} \right)^2 \cdot \frac{\rho}{2}. \quad (24)$$

Потери давления на выходе из кольцевой трубы в приемную камеру дезинтегратора при $W_0 = 48,2$ м/с и коэффициент сопротивления $\zeta_{\text{вых.д}} \approx 1$ составляют:

$$\Delta P_{\text{в.д.}} = \zeta_{\text{вых.д}} \cdot \frac{W_0^2}{2} \cdot \rho. \quad (25)$$

Суммарные потери кольцевого канала:

$$\Delta P_{\kappa.к.} = \Delta P_{\kappa.m.} + \Delta P_{\text{в.д.}} = (\zeta_{\kappa.m.} + \zeta_{\text{вых.д}}) \cdot \frac{W_0^2}{2} \cdot \rho. \quad (26)$$

Тогда суммарный напор, создаваемый дезинтегратором-нагнетателем, через сумму потерь во всех ранее рассмотренных элементах патрубка рецикла, равен:

Подстановка численных значений геометрических и технологических параметров, а также коэффициентов местного сопротивления на всех участках патрубка рецикла показывает, что основные потери давления приходится на преодоление сопротивления поворотной заслонки. При $h = 8$ мм данные потери составляют 84,5 %, при этом потери давления на сопротивление кольцевой трубы составляют 14,1 %. Таким образом, из выражения (27) можно заключить, что суммарный напор зависит от конструктивных и технологических параметров патрубка рецикла дезинтегратора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., «Машиностроение», 1975. 559 с.
2. Тольцман В.Ф., Шевелев Ф.А. Гидравлическое сопротивление резиновых рукавов. В кн.: Исследование по гидравлике. 1952. 190 с.
3. Абрамович Г.Н. Аэродинамика местных сопротивлений // Сб. Промышленная аэродинамика. Труды ЦАГИ, вып. 211. 1935. С. 65–150.
4. Некрасов Б.Б. Гидравлика. ВВА, 1954, 290 с.
5. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления (физико-механические основы). Госэнергоиздат, 1954, 356 с.
6. Levin I., Clermont F., Etude des pertes de charge singulieres dans les convergents, "Le Genie Civil" 1970. Vol. 147. No. 10. Pp. 11–20.
7. Альтшуль А.Д., Калищун В.М. О коэффициенте сопротивления конфузоров // Известия ВУЗов. Энергетика. 1960. №7. С. 130–136.
8. Золотов С.С. Гидравлическое сопротивление каналов кольцевого сечения. Труды Ленинградского кораблестроительного института, вып. 74. 1971. С. 41–49.
9. Субботин В.И., Ушаков П.А., Шейнина А.В. Гидравлическое сопротивление узких кольцевых каналов со спиральными ребрами. "Атомная энергия", 1966. Т. 25. №1. С. 13–16.

Информация об авторах

Логачев Иван Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: semikopenko.i@yandex.ru; e-mail: semikopenko.ia@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Смирнов Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Беляев Денис Александрович, аспирант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ханин Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2018 г.

© Логачев И.Н., Семикопенко И.А., Смирнов Д.В., Беляев Д.А., Ханин С.И., 2018

¹*Logachev I.N., ^{1,*}Semikopenko I.A., ¹Smirnov D.V., ¹Belyaev D.A., ¹Hanin S.I.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

**E-mail: semikopenko.ia@bstu.ru*

DETERMINATION OF THE AERODYNAMIC RESISTANCE OF THE AIR RECOVERY PIPE OF THE DEZINTEGRATOR EXPERIMENTAL UNIT

Abstract. Currently, disintegrators are used for milling, mixing and activating a spectrum of materials. The article allows to determine the total head created by the disintegrator through the sum of losses in all previously considered elements of the recycle branch pipe, in terms of aerodynamic resistance. The design scheme is presented for determining an aerodynamic resistance in the disintegrator recycling branch pipe. During the experiments, the loss of pressure is determined, taking into account the coefficients of local re-

sistance. In result of conducted studies, it is concluded the total head depends on the structural and technological parameters of the disintegrator recycling branch pipe. The numerical values of given parameters show that the main pressure losses occur due to overcoming the resistance of rotary damper.

Keywords: *disintegrator, resistance, branch pipe, material, air.*

REFERENCE

1. Idelchik I.E. Reference book on hydraulic resistance. M., "Mechanical Engineering", 1975, 559 p.
2. Toltzman V.F., Shevelev F.A. Hydraulic resistance of rubber hoses. In: Research on hydraulics. 1952, 190 pp.
3. Abramovich G.N. Aerodynamics of local resistances. Sat. Industrial aerodynamics. Proceedings of TsAGI, no. 211, 1935, pp. 65–150.
4. Nekrasov B.B. Hydraulics. VVA, 1954, 290 p.
5. Idelchik I.E. Hydraulic resistance (physical and mechanical basis). State Power Engineering Publishing House, 1954, 356 p.
6. Levin I., Clermont F., Etude des pertes de charge singulieres dans les convergents, "Le Genie Civil", 1970, vol. 147, no. 10, pp. 11–20.
7. Altshul A.D., Kalitsun V.M. On the resistance coefficient of confusers. Proceedings of universities. Power Engineering, 1960, no. 7, pp. 130–136.
8. Zolotov S.S. Hydraulic resistance of channels of annular cross-section. Proceedings of the Leningrad Shipbuilding Institute, 1971, no. 74, pp. 41–49.
9. Subbotin V.I., Ushakov P.A., Sheinina A.V. Hydraulic resistance of narrow annular channels with spiral ribs. "Atomic energy", 1966, vol. 25, no. 1, pp. 13–16.

Information about the author

Logachev, Ivan N. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Semikopenko, Igor A. PhD, Assistant professor. E-mail: semikopenko.i@yandex.ru; e-mail: semikopenko.ia@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Smirnov, Dmitriy V. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Belyaev, Denis A. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Hanin, Sergey I. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in July 2018

Для цитирования:

Логачев И.Н., Семикопенко И.А., Смирнов Д.В., Беляев Д.А., Ханин С.И. Определение аэродинамического сопротивления патрубка рецикла воздуха экспериментальной установки дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 132–137. DOI: 10.12737/article_5bd95a7b37fd98.85598287

For citation:

Logachev I.N., Semikopenko I.A., Smirnov D.V., Belyaev D.A., Hanin S.I. Determination of the aerodynamic resistance of the air recovery pipe of the dezintegrator experimental unit. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 132–137. DOI: 10.12737/article_5bd95a7b37fd98.85598287

DOI: 10.12737/article_5bd95a7c7e2732.04405794

¹Уральский А.В., ¹Уральский В.И., ^{1,*}Синица Е.В., ¹Шинкарев Л.И., ¹Сажнева Е.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: sinica.ev@bstu.ru

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В КАМЕРАХ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОМОЛЬНОГО АГРЕГАТА

Аннотация. В настоящее время значительное внимание уделяется повышению эффективности помольного оборудования для производства высокодисперсных порошков. Одним из перспективных направлений является создание энергосберегающих центробежных измельчителей. В статье рассмотрен помольный агрегат, основу которого составляет рычажный механизм, позволяющий обеспечить различные траектории движения помольных камер и, соответственно, различное динамическое воздействие мелющих тел на измельчаемый материал. Представлены теоретические исследования движения мелющих тел в камере центробежного помольного агрегата, установлены аналитические зависимости изменения угловой скорости вращения эксцентрикового вала агрегата от угловой скорости обкатывания мелющего тела (шара) по внутренней цилиндрической поверхности помольной камеры.

Рассмотрена схема сил, действующих на мелющее тело, в плоскости, перпендикулярной продольной оси камеры.

Получены выражения, описывающие изменение величины угловой скорости кругового движения шара относительно подвижной системы координат, связанной с камерой, в зависимости от системы сил, действующих на мелющее тело и конструктивных параметров камеры. Определено минимальное значение угловой скорости движения мелющего тела, обеспечивающее его обкатывание по поверхности камеры для опытно-промышленного образца центробежного помольного агрегата.

Получены дифференциальные уравнения движения мелющего тела относительно подвижных и неподвижных систем отсчета.

Полученные аналитические зависимости позволяют установить рациональный режим работы агрегата в соответствии с конкретными условиями измельчения материала.

С использованием полученных результатов определены значения параметров работы опытно-промышленного образца центробежного помольного агрегата при сухом способе измельчения. Установлен коэффициент увеличения угловой скорости вращения эксцентрикового вала в сравнении с необходимой угловой скоростью обкатывания шара по поверхности камеры.

Ключевые слова: помольный агрегат, рычажный механизм, помольные камеры, мелющие тела, система координат, уравнение движения, угловая скорость.

В настоящее время значительное внимание уделяется повышению эффективности помольного оборудования для производства высокодисперсных порошков [1, 2]. Одним из перспективных направлений является создание энергосберегающих центробежных измельчителей, обеспечивающих селективное динамическое воздействие на материал в ходе всего технологического цикла измельчения в зависимости от конкретных требований к качеству готового продукта [3–7].

В Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова созданы центробежные помольные агрегаты (ЦПА) с различными конструктивно-технологическими параметрами. Основой конструкции агрегатов являются кривошипно-ползунные механизмы, позволяющие обеспечить необходимые траектории движения рабочих камер (рис. 1) [8–11].

Для установления режимов работы центробежного помольного агрегата необходимо определить зависимость изменения угловой скорости

вращения эксцентрикового вала агрегата (звена АВ) от угловой скорости обкатывания мелющего тела (шара) массой m по стенке нижней помольной камеры относительно центра системы координат, связанной с камерой (рис. 2).



Рис. 1. Центробежный помольный агрегат

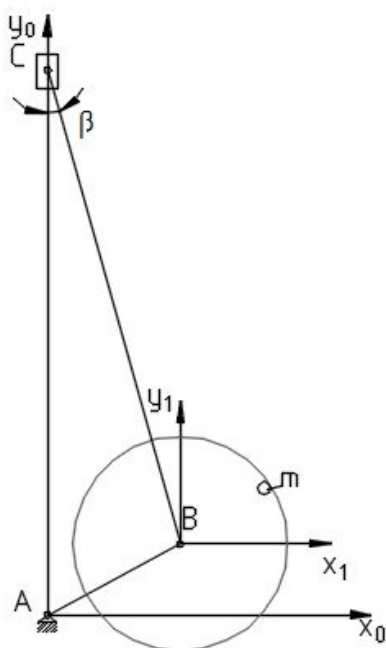


Рис. 2. Схема рычажного механизма

В первую очередь получим выражение для определения величины угловой скорости кругового движения шара относительно подвижной системы координат BX_1Y_1 , связанной с камерой. На рис. 3 представлена схема сил, действующих

на мелющее тело, в плоскости, перпендикулярной продольной оси камеры.

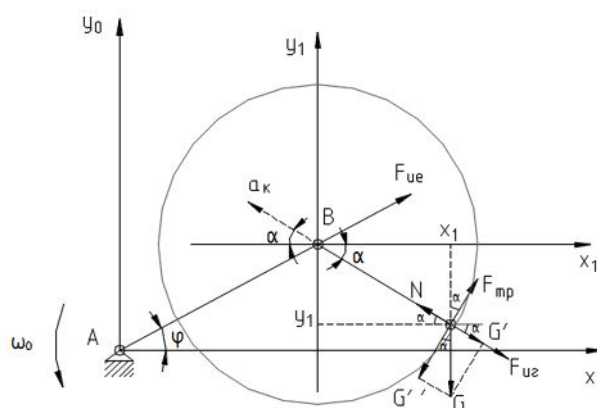


Рис. 3. Расчетная схема

Для удержания шара от скатывания по внутренней цилиндрической поверхности камеры необходимо выполнение условия

$$F_{\text{тр}} > G'', \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н; G'' – проекция силы тяжести шара G на направление движения шара, Н ($G'' = G \cos \alpha = mg \cos \alpha$); m – масса шара, кг; g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; α – угол, определяющий положение шара, град.

Сила трения определяется выражением

$$F_{\text{тр}} = N \cdot f = (F_{\text{иr}} + G') \cdot f = (F_{\text{иr}} + G \cdot (-\sin \alpha)) \cdot f = (m\omega_{\text{ш}}^2 R - mg \sin \alpha) \cdot f, \quad (2)$$

где N – сила реакции, Н; f – коэффициент трения; $F_{\text{иr}}$ – относительная сила инерции, Н; R – расстояние от начала координат (точки B) до центра масс шара (точки K) ($R = R_0 - r_{\text{ш}}$), м; G' – радиальная проекция силы тяжести шара, Н; $\omega_{\text{ш}}$ – угловая скорость шара относительно точки B при рассматриваемом движении, с^{-1} .

Подставляя выражение (2) в условие (1), получаем

$$(m\omega_{\text{ш}}^2 R - mg \sin \alpha) \cdot f > mg \cos \alpha,$$

или

$$f(\omega_{\text{ш}}^2 R - g \sin \alpha) > g \cos \alpha. \quad (3)$$

Экстремальное положение шара будет при $\alpha = 90^\circ$. Тогда $\sin \alpha = 1$, $\cos \alpha = 0$. При этих условиях получаем

$$\omega_{\text{ш}}^2 R > g.$$

Отсюда

$$\omega_{\text{ш}} > \sqrt{\frac{g}{R}}. \quad (4)$$

Опытно-промышленный образец центробежного помольного агрегата имеет цилиндрические помольные камеры с внутренним радиусом $R_0 = 0,075 \text{ м}$. Рекомендуемый размер мелющих

тел в нижней камере агрегата при измельчении хрупких материалов (например, кварцито-песчаника) составляет $D = 0,01 \text{ м}$, т.е. $r_{\text{ш}} = 0,005 \text{ м}$.

Получаем $R = R_0 - r_{\text{ш}} = 0,075 - 0,005 = 0,07 \text{ м}$.

Подставляя эту величину в (4) определим минимальное значение угловой скорости движения мелющего тела, обеспечивающее его обкатывание по поверхности камеры. Получаем $\omega_{\text{ш}} = 11,8 \text{ с}^{-1}$.

Дифференциальные уравнения движения материальной точки относительно подвижных, в общем случае неинерциальных, систем отсчета получают из уравнений движения точки относительно инерциальной (неподвижной) системы отсчета и кинематической теоремы Кориолиса о сложении ускорений [12].

Имеем инерциальную систему AX_0Y_0 и материальную точку (шар) массой m , на которую действуют приложенные силы $\vec{F}$ и $\vec{N}$.

Уравнение движения

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N}, \quad (5)$$

где $\vec{F}$ – равнодействующая заданных активных сил, Н; $\vec{N}$ – равнодействующая сил реакций связей, Н; $\vec{a}$ – абсолютное ускорение, м/с^2 .

$$\bar{a} = \bar{a}_e + \bar{a}_r + \bar{a}_k, \quad (6)$$

где $\bar{a}_e$ – переносное ускорение; $\bar{a}_r$ – относительное ускорение; $\bar{a}_k$ – кориолисово ускорение.

Подставляя выражение (6) в (5), получим

$$m\bar{a}_r = \bar{F} + \bar{N} + \bar{\Phi}_e + \bar{\Phi}_k, \quad (7)$$

где $\bar{\Phi}_e = -m\bar{a}_e$ – переносная сила инерции; $\bar{\Phi}_k = -m\bar{a}_k$ – кориолисова сила инерции.

Исходя из динамической теоремы Кориолиса, или уравнения относительного движения точки в векторной форме, материальная точка движется относительно неинерциальной системы отсчета так же, как и относительно инерциальной системы, только к приложенным активным силам и реакциям связей следует добавить переносную и кориолисову силы инерции [12].

Нижняя камера помольного агрегата, закрепленная на шатуне (звене BC) рычажного механизма (рис. 2) при вращении эксцентрикового вала поворачивается на угол β . Максимальная величина этого угла будет при положении эксцентрикового вала, когда угол ABC равен 90° . При этом, с учетом конструктивных параметров опытно-промышленного образца помольного агрегата $l_{AB} = 0,02$ м, $l_{BC} = 0,66$ м, получаем

$$\tan \beta_{max} = \frac{l_{AB}}{l_{BC}} = \frac{0,02}{0,66} = 0,03.$$

Величина угла $\beta_{max} \approx 1,7^\circ$. Исходя из малой величины угла, поворотом звена BC можно пренебречь.

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = m\omega_0^2 e \cos \varphi + m\omega_u^2 R f \sin \alpha + mgf \sin^2 \alpha - mg \sin \alpha \cos \alpha \\ m\ddot{y}_1 = m\omega_0^2 e \sin \varphi - mg + m\omega_u^2 R f \cos \alpha + mgf \sin \alpha \cos \alpha + mg \sin^2 \alpha \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = \omega_0^2 e \cos \varphi + \omega_u^2 R f \sin \alpha + gf \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha \\ \ddot{y}_1 = \omega_0^2 e \sin \varphi - g + \omega_u^2 R f \cos \alpha + gf \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha \end{cases} \quad (9)$$

Проекции ускорения точки K при установившемся обкатывании шара по поверхности помольной камеры определяются выражениями:

$$\ddot{x}_1 = \ddot{x}_k = -a_k \cos \alpha = -\omega_u^2 R \cos \alpha$$

$$\begin{cases} -\omega_u^2 R \cos \alpha = \omega_0^2 e \cos \varphi + \omega_u^2 R f \sin \alpha + gf \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha \\ \omega_u^2 R \sin \alpha = \omega_0^2 e \sin \varphi - g + \omega_u^2 R f \cos \alpha + gf \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} -\omega_0^2 e \cos \varphi = \omega_u^2 R \cos \alpha + \omega_u^2 R f \sin \alpha + gf \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha \\ -\omega_0^2 e \sin \varphi = -\omega_u^2 R \sin \alpha - g + \omega_u^2 R f \cos \alpha + gf \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha \end{cases} \quad (11)$$

Обозначив в этих уравнениях

$$gf \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha = A,$$

$$gf \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha - g = B,$$

В связи с этим считаем, что система BX_1Y_1 относительно системы AX_0Y_0 не вращается, движется поступательно, оси параллельны. Следовательно, ускорение Кориолиса $\bar{a}_k = 0$.

Составляем дифференциальные уравнения движения шара относительно подвижной системы координат в проекциях на подвижные оси координат:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = F_{ue_x} + G'_x - G''_x + F_{ur_x} + F_{mp_x} - N_x \\ m\ddot{y}_1 = F_{ue_y} - G'_y - G''_y - F_{ur_y} + F_{mp_y} + N_y \end{cases} \quad (8)$$

где

$$F_{ue_x} = m\omega_0^2 e \cos \varphi; \quad F_{ue_y} = m\omega_0^2 e \sin \varphi;$$

$$G' = G \sin \alpha = mg \sin \alpha; \quad G'' = G \cos \alpha = mg \cos \alpha;$$

$$G'_x = mg \sin \alpha \cos \alpha; \quad G'_y = mg \sin \alpha \sin \alpha;$$

$$G''_x = mg \cos \alpha \sin \alpha; \quad G''_y = mg \cos \alpha \cos \alpha;$$

$$F_{ur_x} = m\omega_u^2 R \cos \alpha; \quad F_{ur_y} = m\omega_u^2 R \sin \alpha;$$

$$N_x = (m\omega_u^2 R + mg \sin \alpha) \cos \alpha;$$

$$N_y = (m\omega_u^2 R + mg \sin \alpha) \sin \alpha;$$

$$F_{mp_x} = (m\omega_u^2 R + mg \sin \alpha) f \sin \alpha;$$

$$F_{mp_y} = (m\omega_u^2 R + mg \sin \alpha) f \cos \alpha.$$

Подставляя выражения, определяющие силовые факторы, в (8) и сделав ряд преобразований, получим

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_k = a_k \sin \alpha = \omega_u^2 R \sin \alpha. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), получаем систему уравнений

получим следующую систему уравнений, из которой определится зависимость изменения угловой скорости вращения эксцентрикового вала агрегата ω_0 от угловой скорости ω_u обкатывания мелющего тела (шара) по стенке нижней помольной камеры и конструктивных параметров камеры

$$\begin{cases} \omega_0^2 e \cos \varphi = \omega_u^2 R (\cos \alpha + f \sin \alpha) + A \\ \omega_0^2 e \sin \varphi = \omega_u^2 R (f \cos \alpha - \sin \alpha) + B \end{cases} \quad (12)$$

В результате решения системы уравнений (12) получим следующее выражение

$$\omega_0 = \sqrt[4]{\frac{\omega_u^4 R^2 [(\cos \alpha + f \sin \alpha)^2 + (f \cos \alpha - \sin \alpha)^2] + 2\omega_u^2 R [(\cos \alpha + f \sin \alpha) \cdot A + (f \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot B] + A^2 + B^2}{e^2}} \quad (13)$$

Определим величину ω_0 , обеспечивающую положение мелющего тела в положении при $\alpha = 90^\circ$,

$$\omega_0 = \sqrt[4]{\frac{\omega_u^4 R^2 (1 + f^2) + 2\omega_u^2 R f^2 g + g^2 f^2}{e^2}} \quad (14)$$

Подставив в выражение (14) значения параметров опытно-промышленного образца центробежного помольного агрегата и учитывая наличие вязкого трения при сухом способе измельчения, при котором принимаем $f = 0,5$, находим $\omega_0 = 29,1 \text{ с}^{-1}$. Таким образом, угловая скорость вращения эксцентрикового вала должна быть почти в 2,5 раза больше необходимой угловой скорости обкатывания шара по поверхности камеры.

Полученные аналитические зависимости позволяют установить рациональный режим работы агрегата в соответствии с конкретными условиями измельчения материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тараканов О.В., Белякова Е.А. Формирование микроструктуры цементных материалов с минеральными и комплексными добавками // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 4 (33). С. 60–69.
2. Чувакова К.С., Дмитриев Ю.А., Сумской Д.А. Сырьевые материалы для производства сухих строительных смесей и требования к ним / Эффективные строительные композиты: Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (Белгород, 2-3 апр. 2015), Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 743–750.
3. Воробьев Н.Д. Математическое моделирование в процессах измельчения и классификации материалов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 397 с.
4. Герасимов М.Д., Воробьев Н.Д. Математическая модель двухступенчатого вибрационного механизма // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №2. С. 195–201.
5. Герасимов М.Д., Герасимов Д.М. Определение закона движения, скорости и ускорения центра масс планетарного вибровозбудителя //

Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 12. С. 8–11.

6. Герасимов М.Д. Способ получения направленных механических колебаний для практического применения в технологических процессах // Строительные и дорожные машины. 2014. № 1. С. 35–38.
7. Gerasimov M.D., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Mkrttychev O.V. Determination of the driving forces asymmetry factor and the vibrostands works analysis // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 45392–45398.
8. Пат. 2277973 Российская Федерация В 02С 17/18. Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2005118705/03, заявл. 24.06.05 опубл. 20.06.06, Бюл. №17.
9. Пат. 2381837 Российская Федерация, В 02С 17/08. Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Уральский А.В., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова, ООО «ТК РЕЦИКЛ». № 2008109444/03, заявл. 11.03.08; опубл. 20.02.2010, Бюл. №5.
10. Сеница Е.В., Уральский А.В., Плетнев А.В. Влияние движения мелющей загрузки на динамику центробежного помольно-смесительного агрегата / Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии: сб. докладов Международной научно-практической конференции // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. С. 188–192.
11. Севостьянов В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В., Уральский А.В. Вопросы динамического исследования центробежного помольно-смесительного агрегата / Вибрационные машины и технологии: Сборник науч. тр. // редкол: С.Ф. Яцун (отв. ред.) [и др.]; Курский гос.техн. унив-т. Курск, 2008. С. 596–601.
12. Никитин Н. Н. Курс теоретической механики: Учебник для машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов. 6-е изд. перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2003. 719 с.

Информация об авторах

Уральский Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: Alexx_1984.10@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уральский Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: viural@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Синица Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. E-mail: sinica.ev@bstu.ru, e-mail: evsinica@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шинкарев Леонид Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сажнева Екатерина Александровна, аспирант кафедры технологических комплексов, машин и механизмов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2018 г.

© Уральский А.В., Уральский В.И., Синица Е.В., Шинкарев Л.И., Сажнева Е.А., 2018

¹Uralskiy A.V., ¹Uralskiy V.I., ¹*Sinita E.V., ¹Sazhneva E.A.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: sinica.ev@bstu.ru

FEATURES OF GRINDING BODIES MOVEMENT IN THE CENTRIFUGAL GRINDING UNIT CHAMBERS

Abstract. Nowadays improving an efficiency of grinding equipment for the production of highly disperse powders is important. The perspective area is a creation of energy-saving centrifugal grinders. The article deals with the grinding machine. The grinder is based on a lever mechanism that provides different trajectories of chambers and various dynamic effects of grinding bodies on the ground material. Theoretical studies of grinding bodies movement in a chamber of centrifugal grinding unit are presented. Analytical dependences of change in an angular velocity of the eccentric shaft rotation on an angular velocity of rolling the grinding body (ball) along the inner cylindrical surface of the grinding chamber are established. The scheme of forces acting on the grinding body in a plane perpendicular to longitudinal axis of the chamber is considered. The change in an angular velocity of the ball circulation relative to the moving coordinate system associated with the chamber, depending on the system of forces affecting the grinding body and design parameters of the chamber are defined. The minimum value of an angular velocity of the grinding body movement, which ensures its rolling along the chamber surface for an experimental and industrial sample of a centrifugal grinding unit, is obtained. Differential equations of grinding body movement relative to moving and fixed frames of report are achieved. Obtained analytical dependencies allow establishing a rational operating mode of the unit in accordance with the specific conditions for the grinding material. Parameters value of experimental and industrial model of a centrifugal grinding unit with a dry grinding method are designated. The coefficient of increase in an angular velocity of the eccentric shaft rotation in comparison with the required angular velocity of ball rolling over the chamber surface is established.

Keywords: grinding unit, linkage, grinding chamber, grinding bodies, coordinate system, equation of movement, angular velocity.

REFERENCES

1. Tarakanov O.V., Belyakova E.A. Formation of the microstructure of cement materials with mineral and complex additives. Regional architecture and construction, 2017, no. 4 (33), pp. 60–69.

2. Chuvakova K.S., Dmitriev Yu.A., Sumskeya D.A. Raw materials for the production of dry building mixtures and requirements for them. Effective building composites: Scientific and Practical Conference for the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences Bazhenov

Yuri Mikhailovich, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (2-3 April 2015), Belgorod: BSTU, 2015, pp. 743–750.

3. Vorobyev N.D. Mathematical modeling in the processes of grinding and classification of materials. Belgorod: BSTU, 2014, 397 p.

4. Gerasimov M.D., Vorobyov N.D. Mathematical model of a two-stage vibrational mechanism. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 2, pp. 195–201.

5. Gerasimov M.D., Gerasimov D.M. Determination of the law of motion, velocity and acceleration of the center of mass of a planetary exciter. International Journal of Applied and Fundamental Research, 2013, no. 12, pp. 8–11.

6. Gerasimov M.D. Method of obtaining directed mechanical oscillations for practical application in technological processes. Construction and road machines, 2014, no. 1, pp. 35–38.

7. Gerasimov M.D., Glagolev S.N., Gerasimov D.M., Mkrtychev O.V. Determination of the driving forces asymmetry factor and the vibrostands works analysis. International Journal of Applied Engineering Research, 2015, T. 10. no. 24, pp. 45392–45398.

8. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralsky V.I., Sinita E.V. Grinding-mixing unit. Patent RF, no. 2005118705/03, 2006.

9. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Ural V.I., Sinita E.V. Grinding-mixing unit. Patent RF, no. 2008109444/03, 2010.

10. Sinita E.V., Uralsky A.V., Pletnev A.V. Influence of grinding loading on the dynamics of a centrifugal grinding-mixing unit. Scientific research, nanosystems and resource-saving technologies in the construction industry: coll. reports of the International Scientific and Practical Conference. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod: BSTU, 2007, pp. 188–192.

11. Sevostyanov V.S., Uralsky V.I., Sinita E.V., Uralsky A.V. Questions of dynamic research of a centrifugal grinding-mixing unit. Vibrating machines and technologies: Collection of scientific articles, Kursk State Technical University: Kursk, 2008, pp. 596–601.

12. Nikitin N.N. Course of Theoretical Mechanics. M.: High School, 2003, 719 p.

Information about the author

Uralskiy, Alexey V. PhD, Assistant professor. E-mail: Alexx_1984.10@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uralskiy, Vladimir I. PhD, Assistant professor. E-mail: wiural@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shinkarev, Leonid I. PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sinita, Elena V. PhD, Assistant professor. E-mail: sinica.ev@bstu.ru; e-mail: evsinica@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sazhneva, Ekaterina A. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in July 2018

Для цитирования:

Уральский А.В., Уральский В.И., Синица Е.В., Шинкарев Л.И., Сажнева Е.А. Особенности движения мелющих тел в камерах центробежного помольного агрегата // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 138–143. DOI: 10.12737/article_5bd95a7c7e2732.04405794

For citation:

Uralskiy A.V., Uralskiy V.I., Sinita E.V., Shinkarev L.I., Sazhneva E.A. Features of grinding bodies movement in the centrifugal grinding unit chambers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 138–143. DOI: 10.12737/article_5bd95a7c7e2732.04405794

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.12737/article_5bd95a7da095f6.19986378

¹Шлапакова Н.А., ¹*Учаева Т.В., ¹Сидорова В.А.¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28

*E-mail: uchaevaty@mail.ru

УЧЕТ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ В АНТИКРИЗИСНОМ УПРАВЛЕНИИ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. В антикризисном управлении строительного предприятия важную роль играет учет внутренних и внешних факторов, которые могут влиять как извне, так и изнутри самого предприятия. В связи с этим необходимо учитывать их при проведении ряда мероприятий по борьбе с кризисом. В данной статье рассмотрены внутренние и внешние факторы, их влияние на финансовое состояние строительных предприятий и их учет в антикризисном управлении. Проведена классификация этих факторов, которая позволит дать полную информацию предприятиям о причинах возникновения кризиса. К внешним факторам относятся: экономическое состояние государства, политическое положение на мировой арене, положение рынка, рост тарифов монополий, природные явления, внешнеэкономическая деятельность других предприятий. К внутренним, следует отнести малоэффективную систему управления, не налаженные отношения с поставщиками, неопытный руководящий состав и низкая квалификация других специалистов, низкая производительность, ошибки при составлении бизнес-плана. Даются рекомендации для повышения финансовой устойчивости в условиях кризиса. Говорится о значимости проведения мониторинга для выявления факторов, воздействующих на деятельность предприятия негативно. Приведены наиболее эффективные методы борьбы с кризисным состоянием. Обоснована важность проведения маркетинговых исследований в борьбе с факторами, отрицательно влияющими на финансовое состояние предприятия. Доказана важная роль внедрения системы антикризисного управления, основанная на современных методах борьбы с кризисными ситуациями, внутри организации. Показана роль государства в управлении кризисными ситуациями, степень влияния государства на монополии. Оценена роль монополий в жизни субъектов малого и среднего предпринимательства.

Ключевые слова: антикризисное управление, финансовая устойчивость, финансовое состояние, внутренние факторы, внешние факторы, строительное предприятие.

Введение. Важную роль в антикризисном управлении строительного предприятия играет теория и практика борьбы с кризисными ситуациями. Но малое количество руководителей изучает опыт, накопленный в антикризисном управлении. Однако необходимо знать, что основными причинами, из-за которых предприятие становится банкротом, являются: низкий уровень маркетинга, неэффективный менеджмент, отсутствие контроля за финансовым состоянием предприятия, а также невозможность управлять факторами, действующими вне предприятия. Поэтому, можно сказать, что основные причины банкротства – внутренние и внешние. Внутреннее предприятие может контролировать, а вот внешние от самого предприятия не зависят. К ним относятся, например, политика, действия монополий, природные явления и т.д. [1, 2].

Многие российские строительные предприятия не ведут учет факторов, влияющих на финансовое состояние предприятия. Им необходимо в ходе их жизненного цикла использовать систему

борьбы с кризисными ситуациями, которая позволит вести антикризисное управление на всех стадиях жизненного цикла предприятия, а также произойдет спад ситуаций, из-за которых предприятие может стать банкротом.

Поэтому исследование внутренних и внешних факторов в антикризисном управлении является актуальным. Оно позволит строительным предприятиям не допускать прежних ошибок в управлении, а также станет основой в теории факторов влияния на финансовое состояние предприятия. Необходимо отметить, что существует сильная зависимость между платежеспособностью предприятия от деятельности монополий, от роста тарифов, политической и экономической нестабильности. Следует использовать механизмы антикризисного управления, внедрять систему контроля финансовой устойчивости предприятия, которая должна быть основана на учете внутренних и внешних факторов.

Основная часть. Общеизвестным фактом является следующий: эффективная система управления антикризисными ситуациями должна

включать в себя мониторинг финансового состояния предприятия, который позволит вести контроль и диагностировать состояние банкротства, а также позволит принимать верные решения в чрезвычайных ситуациях.

Ряд проведенных мероприятий в России либерально-монетаристской направленности позволяет сделать вывод, что необходима реформа всех методов и устройств управления антикризисными процессами, иначе невозможно снизить количество неплатежеспособных предприятий и вывести из банкротства предприятий в условиях кризиса.

Система управления банкротством в таких предприятиях малоэффективна, и в основном она ориентируется на закрытие предприятия и признания его банкротом. Поэтому можно сказать, что сегодня нужно реформировать данную систему и опираться на опыт ведущих организаций, которые смогли выстоять в условиях кризиса.

Следует провести анализ причин, способствующих возникновению кризисных ситуаций в организации, которые напрямую влияют на финансовое состояние предприятия. Прежде всего, выделяют внутренние и внешние факторы. Классификация этих факторов представлена в табл. 1.

Для исследования факторов внешней среды необходимо проводить определенные маркетинговые мероприятия. Исследования, проводимые для выявления факторов внешней среды, должны быть определенным образом оценены. Оценка должна быть объективной и формальной. Про внутренние факторы можно сказать следующее: управление ими может быть основано только на наиболее эффективных методах управления (например, следует уделить внимание бенчмаркингу).

Управление в условиях кризиса можно охарактеризовать как неотъемлемую модель управления внутри всей системы менеджмента, которая включает в себя систему контроля за внутренними и внешними факторами, среди которых происходит жизнедеятельность самого предприятия и его отдельных элементов, с целью борьбы с причинами несостоятельности и банкротства, а также обеспечения стабильного финансового положения на долгое время [3, 4].

Ряд показателей, которые характеризуют изменения внутри организации и непосредственно многих ее структурных элементов, а также ее положение на рынке, помогут определить направление действий в антикризисном управлении. Между тем, система управления риска состоит из следующих звеньев:

- 1) необходимость определения причин наличия риска;
- 2) ранжирование рисков в порядке важности и значимости;

- 3) оценка уровня влияния риска;

- 4) оценка вероятности возникновения рисков на предприятии и выстраивание ее по возрастанию;

- 5) выбор эффективных способов борьбы с рисками;

- 6) принятие решения управляющим органом об изменении методов управления;

- 7) контролирование последствий после изменения методов управления.

Государственное управление в условиях кризиса крупнейших монополий очень необходимо, поскольку именно от монополий зависит уровень и качество жизни населения, положение страны на мировом рынке, к тому же субъекты малого и среднего предпринимательства могут понести огромные убытки, если монополии окажутся на грани банкротства. Поэтому государство вынуждено поддерживать предпринимателей и контролировать работу монополий для соблюдения тарифных ставок для товаров и услуг.

Управление финансами в период кризиса должно включать в себя контролирование финансового состояния предприятия, также учитывать причины кризисного состояния, выбирать наиболее эффективные способы по устранению этих причин. В этом случае может использоваться даже полнейшая реорганизация предприятия.

Механизм стабилизации финансового положения строительного предприятия в кризисных ситуациях состоит из:

1. Предотвращение неплатежеспособности, которое может быть предотвращено следующими методами:

- а) сокращение кредиторской задолженности в текущем периоде, обязательств перед другими организациями (долги по поставкам);

- б) повышение доходов предприятия за счет дебиторской задолженности и продажи товаров, хранящихся на складе;

- в) продажа неликвидного товара по высоким ценам;

- г) оптимизация ликвидов, перевод их в денежные средства (это происходит из-за сокращения отсрочки платежа покупателям, работа с поставщиками, продажа готовой продукции покупателям, получение льгот, получение компенсации и пеней и т.д.);

- д) внеоборотные активы должны перевестись в денежные средства (например, если у вас есть помещение, которое вы не используете, то вы можете его сдавать в аренду; также в аренду можно сдать различное оборудование (станки, например)), к тому же, если вы планировали расширения производства и приобретения нового оборудования, то вы просто можете приобрести его в аренду на определенный срок.

Таблица 1

Внешние и внутренние факторы, влияющие на финансовое состояние предприятия

Внешние факторы	Внутренние факторы
<i>Глобализация мирового значения:</i> - нестабильность работы организаций из-за мировых кризисов и объединения в экономические союзы; - невозможность управлять ценами на ценные бумаги, т.к. рынок ценных бумаг переполнен - меняются предпочтения потребителей, из-за этого падает уровень спроса; - изменения в мировой политике, изменения в экспортно-импортных отношениях, санкции, запреты и т.д.; - обостряется зависимость между национальным и мировым риском, отсюда следует взаимосвязь кризиса внутри страны и на мировом уровне; - падает объем производства из-за конъюнктуры рынка.	<i>Факторы управления:</i> - малоэффективная система управления; - отсутствие опыта у управляющих; - отсутствие профессионализма; - низкий уровень организационной структуры предприятия; - используется менеджмент, не подходящий этой организации; - недостатки в гибкости, своевременности, эластичности в менеджменте - отсутствие мониторинга рынка; - неиспользование современных популярных методов управления.
<i>Социально-экономические факторы внутри страны:</i> - нововведения на муниципальном или государственном уровне; - изменения в планах развития страны; - новаторства в области экспортно-импортных отношений, из которых следуют новшества и во внешней политике, и во внутренней; - нет единства в стратегиях развития страны; - высокий уровень инфляции; - отсутствие экономического роста; - повышение цен у ведущих монополий; - спад уровня доходов населения; - падение уровня ВВП, ВНП; - нестабильность всей экономической системы; - разный уровень доходов у населения; - неустойчивость системы (муниципальные образования не могут взять кредит, нет льгот, субсидий и т.д.).	<i>Финансовые:</i> - не применяются новые методы финансового менеджмента; - неполная система управления финансами; - неиспользование принципов финансового управления (управление капиталом, управление запасами, денежное обеспечение, надлежащий уровень денежных средств на счете, уровень наличных средств, оптимизация задолженности, работа с дебиторской задолженностью и т.д.); - существенные ошибки на начальном этапе создания (написание бизнес-плана, финансовый план, в которых не просчитаны (или неправильно посчитаны) основные моменты финансового управления, не учтены все возможные расходы, неправильно посчитана прибыль предприятия, окупаемость; - ошибки бухгалтерии (бухгалтерская отчетность, которая ведется неправильно, выписки, декларации, бухгалтерский отчет; - неведение налогового контроля; - чрезвычайно высокая экономия по ряду направлений, которая может привести к потере персонала.
<i>Факторы рынка:</i> - низкий уровень наполненности рынка; - и наоборот, высокий уровень наполненности; - значительная конкурентная борьба внутри рынка; - рост курса валют (повышение курса доллара к рублю, что актуально в настоящее время) и наоборот, снижение курса валют; - нестабильный уровень цен внутри страны, а также и в экспортно-импортных отношениях из-за повышения цен поставщиками; - повышается производительность товаров-аналогов.	<i>Факторы производства:</i> - у предприятия нет взаимодействия между отделами и цехами, из-за этого отсутствует целостность внутри предприятия; - неизменность сложившейся системы (она должна меняться постоянно); - амортизация основных фондов; - снижение уровня производительности; - себестоимость продукции превышает среднерыночную цену товара;
<i>Иные внешние факторы:</i> - климатические условия; - природные явления; - новые законы; - политические разногласия; - терроризм.	<i>Внутренние факторы рынка:</i> - малое количество поставщиков, которые диктуют свои условия поставки; - отсутствие отличительных признаков у продукции и узнавание бренда; - риск хранения продукции на складе.

2. Поддержание устойчивости финансового положения происходит за счет введения новых способов борьбы с кризисом, таких как уменьшение использования ресурсов и увеличение собственных денежных средств благодаря:

а) уменьшению объема выпускаемой продукции, которая только тянет предприятие в убыток, из-за которой общая рентабельность предприятия снижается; прекращение инвестирования в другие сферы;

б) увеличение выпуска прибыльной продукции, продажа ее с еще большей накруткой, контроль за браком и испорченной продукцией.

3. Наличие финансовой стабильности благодаря повышению качества продукции, проведению лабораторных испытаний, выпуска новой инновационной продукции, отличной от продукции конкурентов, поиск новых поставщиков, способных поставлять продукцию по более выгодным ценам, пытаться обеспечить себе скидку у старых поставщиков. Также можно автоматизировать производство, обратить внимание на методы бережливого производства.

Главной причиной того, что строительные компании становятся банкротами в кризисное время, является отсутствие в необходимом количестве наличного капитала. И это правда так, потому что многие компании работают по безналичному расчету и существуют лишь с помощью кредитов и займов. Но каждой компании важно иметь собственные денежные средства, чтобы не прийти к состоянию неплатежеспособности.

Следующей причиной является увеличение расходов в экономически нестабильное время. Если происходит снижение уровня продаж, то необходимо снижать и расходы. Если не произойдет снижение расходов, то предприятие понесет огромные убытки.

Также причиной банкротства может послужить и увеличение издержек. Всегда должен быть баланс между доходами и расходами. Руководитель должен планировать и контролировать уровень издержек на предприятии, иначе последствия могут быть чрезвычайными.

Выводы. Таким образом, необходимо каждому строительному предприятию вести учет внутренних и внешних факторов-причин возникновения кризисных ситуаций в организации. Необходимо иметь в виду, что к внешним факторам относятся те, которые воздействуют на предприятие через внешнюю среду и само предприятие никак не может повлиять на эти факторы

(экономика, политика, экспортно-импортные отношения, монополии, социальная обстановка, чрезвычайные ситуации, природные аномалии), к внутренним факторам относятся факторы, непосредственно связанные с самой организацией и она имеет возможность влиять на них (поставщики, руководство, структура, система менеджмента, производство, продукция и т.д.). Предприятие в своей практике должно использовать только самые эффективные методы борьбы с кризисом, повышая свою конкурентоспособность и платежеспособность за счет выпуска новой продукции, борьбы с неликвидами, поиска новых поставщиков, повышения рентабельности, соотношения уровня доходов и расходов, внедрения системы антикризисного управления, которая позволит вести мониторинг рынка в целом и контролировать финансовую устойчивость предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев Е.Е. Сущность и содержание антикризисной стратегии предприятия (организации) // Символ науки. № 9. 2016. С. 52–55.
2. Кочеткова А., Кочетков П., Основы управления в условиях хаоса. Антикризисное управление. В 2-х частях. Часть 1. Учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М.: Издательство Юрайт, 2016. С. 383.
3. Салл Д.Н. Жизненный цикл и смена управленческих стереотипов. (Публ. в сокр. переводе с англ.)//Элитариум: Центр дистанционного образования: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.elitarium.ru/2016/01/12/print:page,1,zhiznennyj_cikl_i_smena_upravlencheskikh_stereotipov. Дата обращения: 28.04.2018.
4. Гуськова Н.Д., Никитина Н.В. Антикризисное финансовое управление – механизм адаптационного регулирования бизнес-процессов предприятий // Экономика и управление: новые вызовы и перспективы. 2012. № 3. С. 75–78.

Информация об авторах

Шлапакова Наталья Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, организации и управления производством. E-mail: shlapakova-natalya@mail.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28.

Учаева Татьяна Владимировна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, организации и управления производством. E-mail: uchaevatv@mail.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28.

Сидорова Валерия Александровна, магистрант 2 курса, Институт Экономики и Менеджмента. E-mail: valerija-sidorova22@rambler.ru. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28.

Поступила в июне 2018 г.

© Шлапакова Н.А., Учаева Т.В., Сидорова В.А., 2018

¹*Shlapakova N.A., ^{1,*}Uchaeva T.V., ¹Sidorova V.A.*¹*Penza State University of Architecture and Construction
Russia, 440028, Penza, st. Titov, 28***E-mail: uchaevatv@mail.ru*

CONSIDERATION OF INTERNAL AND EXTERNAL FACTORS OF BUILDING ENTERPRISE FINANCIAL STABILITY IN CRISIS MANAGEMENT

Abstract. *The consideration of internal and external factors affecting the construction company plays an important role in the crisis management. In this regard, it is essential to consider given factors during carrying out measures to deal with a crisis. This article examines the internal and external factors, which contributes to financial condition of construction companies in the crisis management. The classification of these factors provides the enterprise with comprehensive information about the causes of a crisis. External factors include a state of national economy, a political situation in the world, a market condition, a monopoly tariff growth, a natural phenomenon and a foreign economic activity of other enterprises. The internal factors include ineffective management system, poor relationships with suppliers, inexperienced management and other specialists with low qualification, low productivity and mistakes in a business plan. Recommendations to improve financial stability in a crisis are given. The importance of monitoring to identify factors that affect the enterprise activities in a negative way is mentioned. The most effective methods of dealing with a crisis are given. The role of marketing research in the dealing with negative factors is justified. The significance of the crisis management system based on modern methods is demonstrated. The role of a state in the crisis management and the degree of influence on monopoly by a state is shown. The role of monopolies in small and medium-sized businesses is evaluated.*

Keyword: *crisis management, financial stability, financial condition, internal factors, external factors, construction company.*

REFERENCES

1. Andreyev E.E. Essence and contents of the crisis response strategy of the enterprise (organization). Symbol of science, 2016, no. 9, pp. 52–55.
2. Kochetkova A., Kochetkov P. Bases of management in the conditions of chaos. Crisis management. In 2 parts. Part 1. The textbook and a practical work for a bachelor degree and a magistracy. M.: Yurayt publishing house, 2016, 383 p.
3. Sal D.N. Life cycle and change of administrative stereotypes. (Publ. in abbr. translation with English)//Elitarium: Center of remote education: [Electronic resource]. Access mode: http://www.elitarium.ru/2016/01/12/print: page, 1, zhiznennyj_cikl_i_smena_upravlencheskikh_stereotipov. Date of the address: 28.04.2018.
4. Guskova N.D. Crisis financial management - the mechanism of adaptation regulation of business processes of the enterprises. II Ekonomika and management: new calls and prospects, 2012, no. 3, pp. 75–78.

Information about the author

Shlapakova, Natalia A. PhD, Assistant, professor. E-mail: shlapakova-natalya@mail.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. Titov, 28.

Uchaeva, Tatiana V. PhD, Assistant professor. E-mail: uchaevatv@mail.ru. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. Titov, 28.

Sidorova, Valeria A. Graduate student. Penza State University of Architecture and Construction. Russia, 440028, Penza, st. Titov, 28.

Received in June 2018

Для цитирования:

Шлапакова Н.А., Учаева Т.В., Сидорова В.А. Учет внутренних и внешних факторов в антикризисном управлении финансовой устойчивостью строительного предприятия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 144–148. DOI: 10.12737/article_5bd95a7da095f6.19986378

For citation:

Shlapakova N.A., Uchaeva T.V., Sidorova V.A. Consideration of internal and external factors of building enterprise financial stability in crisis management. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 144–148. DOI: 10.12737/article_5bd95a7da095f6.19986378

DOI: 10.12737/article_5bd95a7e579937.27913541

¹Селивёрстов Ю.И., ^{1,*}Шевченко М.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: shevchenko.mv@bstu.ru

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ДОСТУПНЫМ ЖИЛЬЕМ

Аннотация. На сегодняшний день в рамках федеральной концепции повышения качества жизни россиян особенно остро стоит вопрос улучшения жилищных условий граждан. Существующие в настоящее время и действовавшие ранее механизмы в рамках федеральных, региональных и муниципальных программ и проектов по обеспечению доступности и комфортности жилья основываются на двух ключевых инструментах: государственные субсидии (в основном из федерального бюджета) и дисконтирование ставки процента по ипотеке для определенных категорий граждан. Значительных результатов такие механизмы не принесли, в результате чего по-прежнему остается актуальной проблема обеспечения населения доступным и качественным жильем, описываемая в данной статье. Теоретическую и методологическую основу исследования составляют комплексный анализ и системный подход к рассмотрению постановлений и приказов Правительства РФ в области улучшения жилищных условий, программ и проектов, направленных на решение рассматриваемой проблемы, методических рекомендаций ученых-экономистов и практиков, а также трудов в области изучения жилищной проблемы и качества жизни населения. Возможность улучшить жилищные условия является сложной проблемой, в которой тесно переплетаются демографические и социально-экономические характеристики текущего уровня жизни населения, параметры кредитно-финансовой системы, ценовой и тарифной политики в сфере жилищного строительства и жилищно-коммунального обслуживания. Однако, в настоящее время одним из ключевых факторов, препятствующих улучшению жилищных условий граждан, является уровень их доходов. Именно поэтому ключевой особенностью рассматриваемой в статье модели обеспечения жильем населения являются льготные условия и доступная цена недвижимости.

Ключевые слова: региональные программы, доступное жилье, экономическая модель жилищной проблемы.

Введение. Жилищные условия занимают одно из центральных положений в системе критериев качества жизни, определяя условия жизнедеятельности человека, его развитие и состояние общества в целом. Разделяя мнение автора Е.Л. Березиной, заметим, что в современной научной литературе используется общеизвестный набор индикаторов, характеризующих жилищные аспекты качества жизни – обеспеченность населения жилой площадью, удельный вес ветхого и аварийного жилья, динамика жилищного фонда, доля благоустроенного жилья и другие. При этом доступность жилья зачастую не фигурирует как индикатор, а чаще используется в качестве интегрального показателя других параметров. На сегодняшний день в экономике и социологии нет конкретного определения понятия «доступное жилье», однако, все больше программ и проектов, направленных на изучение и повышение последнего, реализуется на территории РФ [1].

В послании Президента России Федеральному Собранию отдельное внимание было уделено проблеме доступности жилья и качества жилищных условий граждан. «Понимаю, насколько важно для человека, для каждой семьи иметь

свой дом, свое жилье. Для нашей страны это проблема проблем. Она тянется из десятилетия в десятилетие. В 2017 году три миллиона семей в России улучшили свои жилищные условия. Теперь нам необходимо стабильно (обращаю внимание, впервые в истории современной России) выйти на уровень, когда ежегодно не менее пяти миллионов семей улучшают свои жилищные условия. Это сложная задача – прыгнуть с трех миллионов до пяти. У нас в прошлом году было 3,1 миллиона, а нужно пять. Но это решаемая задача. Вижу три ключевых фактора повышения доступности жилья. Первый – это рост доходов граждан. Об этом я говорил, мы должны это обеспечить. Снижение ставок ипотечного кредитования и, конечно, увеличение предложения на жилищном рынке» – обращается Владимир Владимирович к парламентариям [6].

Одним из основных направлений улучшения благосостояния граждан России на 2018-2030 годы в рамках государственной политики стало обеспечение населения жильем, включая реализацию подпрограмм «Молодая семья»; «Жилье для российской семьи»; «Переселение из аварийного жилья» и другие.

Автор Г.В. Гудименко считает, что поскольку одним из ключевых направлений государственной политики является повышения качества и уровня жизни граждан, а важнейшей потребностью человека является наличие жилой площади, обеспеченности жильем является одной из целей человеческого развития. При этом последнее является неотъемлемой частью механизма развития человеческого потенциала, который, в свою очередь, обеспечивает долголетие, здоровье, высокий уровень образования [3].

Следовательно, каждое развитое государство заботится о том, чтобы его граждане на должном уровне могли удовлетворить свои потребности в материальных благах, бытовых и культурных услугах. В то время как ключевым показателем материального благосостояния, наряду с уровнем доходов и сбережений, является наличие недвижимого имущества.

Методика. Теоретическую и методологическую основу исследования составляют комплексный анализ и системный подход к рассмотрению постановлений Правительства РФ в области улучшения жилищных условий, программ и проектов, направленных на решение рассматриваемой проблемы, методических рекомендаций, а также трудов ученых-экономистов в области изучения жилищной проблемы и качества жизни населения.

Основная часть. По итогам 2016 года на территории РФ показатель обеспеченности жилой площадью на 1-го жителя зафиксирован на

уровне 24,5 м² и 26,1 м² для жителей городской и сельской местности, соответственно (табл. 1). При этом следует отметить стабильно негативную тенденцию сохранения доли семей, состоящих на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях, в общем числе семей. Этот показатель остается неизменным с 2009 года и составляет 5 %, что в абсолютном выражении более 2 500 тыс. семей.

Возможность улучшить жилищные условия является сложной проблемой, в которой тесно переплетаются демографические и социально-экономические характеристики текущего уровня благосостояния населения, параметры бюджетно-нормативной и кредитно-финансовой системы, ценовой и тарифной политики в сфере жилищного строительства и жилищно-коммунального обслуживания. Однако, в настоящее время одним из ключевых факторов, препятствующих улучшению жилищных условий граждан, является уровень их доходов.

По данным Федеральной службы государственной статистики за рассматриваемый период с 2011 по 2016 гг., включительно, в России наблюдалась тенденция роста среднегодового размера номинальной заработной платы (рис. 1). Однако, в 2015 году средний уровень заработной платы был зафиксирован на 9 % ниже, чем в предыдущем году, что является негативным фактором, особенно с учетом высокого значения индекса потребительских цен в этом периоде.

Таблица 1

Основные показатели жилищных условий населения (составлено по [9])

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя (на конец года) – всего, м ²	22,2	22,6	23	23,4	23,4	23,7	24,4	24,9
из нее:								
в городской местности	21,8	22,1	22,5	22,9	22,9	23,3	24	24,5
в сельской местности	23,4	24	24,5	24,8	24,7	25	25,6	26,1
Число квартир – всего, млн.	59,5	60,1	60,8	61,5	61,3	62,9	64	64,9
из них:								
однокомнатных	13,9	14,1	14,3	14,6	14,5	14,5	15,4	15,8
двухкомнатных	23,7	23,9	24,1	24,3	24	23,9	24,9	25,2
трехкомнатных	17,3	17,4	17,6	17,7	17,6	17,5	18,2	18,4
четырёхкомнатных и более	4,6	4,7	4,8	4,9	4,9	4,9	5,2	5,3
Средний размер одной квартиры, м ² общей площади жилых помещений	52,4	52,8	53,3	53,6	54,1	54	54,6	54,9
однокомнатной	33,3	33,4	33,6	33,8	34,6	34,4	35	35,2
двухкомнатной	46,9	47,1	47,3	47,5	48,1	47,6	48,3	48,6
трехкомнатной	62,8	63,2	63,6	64	64,4	64,3	65,2	65,6
четырёхкомнатной и более	100	101,8	103,7	105,4	102,8	102,5	104,5	105,6

Продолжение таблицы 1

Удельный вес числа семей, состоявших на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях, в общем числе семей (на конец года), процентов	5	5	5	5	5	5	5	5
Капитально отремонтированных помещений в квартирах жилых домов за год, тыс. м ² общей площади	17316	8660	4326	3995	3045	2836	4332	2314
Приватизировано жилых помещений (с начала приватизации, по состоянию на конец года):								
всего, тыс.	27672	28459	28752	29156	29839	30158	30557	30756
в процентах от общего числа жилых помещений, подлежащих приватизации	73	75	76	77	78	79	77	81

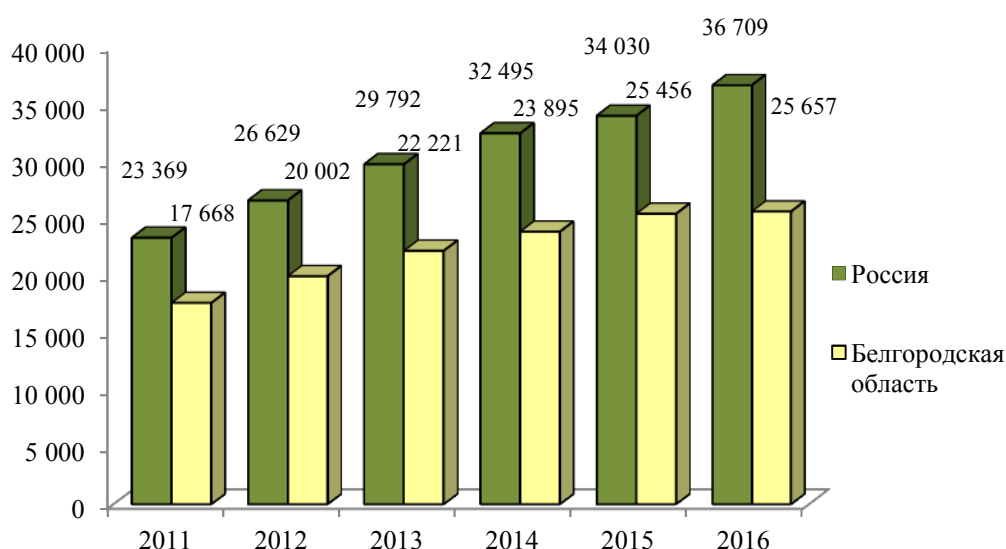


Рис. 1. Динамика среднегодовой номинальной заработной платы (рублей)

При этом не стоит на месте и уровень цен на недвижимость. Анализ ценовых тенденций на рынке жилья двух прошедших лет (рис. 2) позволяет сделать вывод о том, что на первичном рынке жилья сохраняется тенденция роста цен практически во всех категориях: типовые квартиры, квартиры улучшенного качества, элитные квартиры. Это обусловлено, с одной стороны, ростом цен на строительные материалы и комплектующие, с другой – не уменьшающейся потребностью населения в собственном жилье.

Анализ динамики номинальной среднегодовой заработной платы и цен на рынке недвижимости подтверждает наличие проблемы доступности жилья и обуславливает необходимость разработки механизма, позволяющего различным категориям граждан, в первую очередь, не имеющих высоких доходов, улучшать свои жилищные условия. На сегодняшний день реализуется или

уже реализовано субъектами Федерации большое количество проектов и программ, в числе которых:

1. «Обеспечение жильем молодых семей» – г. Саратов.
2. «Молодым семьям – доступное жилье» – г. Иркутск.
3. «Молодежная квартира» – Удмуртская Республика.
4. «Молодежи – доступное жилье» – г. Санкт-Петербург.
5. «Социальная ипотека» – Республика Башкортостан и другие.

В ходе анализа этих проектов, мы пришли к выводу, что в настоящее время нет унифицированной модели, позволяющей использовать отличные от традиционных механизмы, например, без привлечения ипотечного кредита или в обход безвозмездному отвлечению бюджетных средств. Учитывая все недостатки существующих программ и текущий уровень доходности

граждан, в частности сегмента малозащищенного – молодежи, нами предлагается модель обеспечения доступного жилья по

льготной цене и на привлекательных условиях без привлечения гражданами заемных средств и безвозмездных субсидий государства.

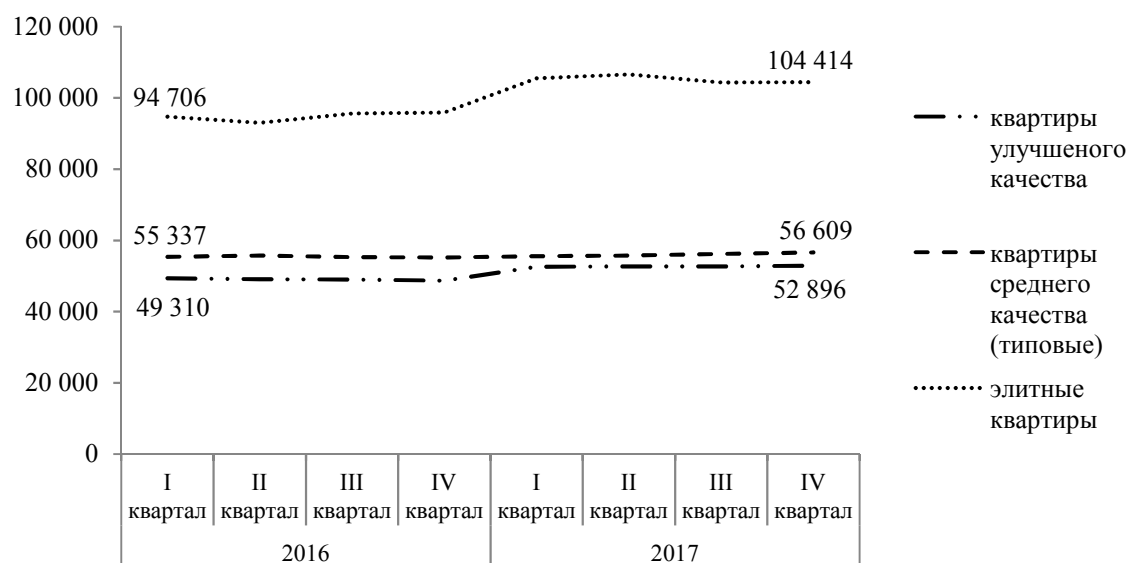


Рис. 2. Ценовые тенденции на рынке жилья в 2016–2017 гг.



1. Соответствие гражданина основным критериям участия.
2. Сбор необходимых документов для участия в проекте.
3. Подача документов в электронном виде (online).
4. Заключение договора о паевом взносе, выбор планировки квартиры.
5. Регистрация участника проекта, как члена жилищного накопительного кооператива (участник-пайщик).
6. Оплата первоначального взноса (30 % от стоимости предполагаемого жилья).
7. Бронирование квартиры (online).
8. В период строительства (до ввода домов в эксплуатацию) паевые взносы участником-пайщиком не вносятся.
9. Ввод домов в эксплуатацию. Заселение участников.
10. Внесение остатка стоимости (70 %) ежемесячными платежами в течение 5 лет.
11. Полная оплата стоимости квартиры, оформление права собственности.

Рис. 3. Пошаговая схема реализации проекта

Механизм такой модели достаточно прост:

1. Выбирается наиболее незащищенная категория граждан, имеющая трудности в приобретении жилья, например, молодежь в возрасте до 36 лет.

2. Определяется орган власти (департамент, управление, фонд и другие), курирующий и администрирующий реализацию проекта в рамках рассматриваемой модели.

3. Производится отбор строительной организации, которая будет выполнять функции заказчика-застройщика.

4. Осуществляется анализ потребности граждан субъекта федерации в жилье, его площади и конфигурации (квартиры-студии, однокомнатные, двухкомнатные и так далее), производится расчет финансово-экономической модели проекта.

5. Производится набор участников согласно схемы (рис. 3).

Льготность и доступность такой модели заключается в предоставляемой рассрочке платежа на 5 лет и стоимости квадратного метра жилой площади в размере 38–40 тыс. руб. (в частности, для жителей Белгородской области).

В качестве исходных данных для расчета финансово-экономической модели были приняты следующие условия:

Таблица 2

Вводные данные для расчета финансово-экономической модели

№ п/п	Наименование	Значение	Ед. измер.
1	Площадь квартир, м ² в т.ч.	22 350	м ²
1.1	реализуемая в рамках проекта	17 880	м ²
1.2	реализуемая на сторону по рыночной цене	4 470	м ²
2	Удельная себестоимость СМР 1 м ²	35 000	руб./м ²
3	Затраты на СМР	782 250 000	руб.
4	Затраты на проект и инженерные сети	67 308 000	руб.
5	Себестоимость строительства	849 558 000	руб.
6	Удельная себестоимость строительства 1 м ²	38 012	руб./м ²
7	Срок строительства	12	месяцев
8	Срок реализации в рамках проекта	3	месяца
9	Срок реализации на сторону по рыночной цене	12	месяц
10	Единовременный взнос	30 %	от ст-ти кв-ры
11	Рассрочка остаточной стоимости	70 %	от ст-ти кв-ры
12	Срок рассрочки по выплате долга	5	лет
13	Цена за 1 м ² при реализации в рамках проекта	38 000	руб./м ²
14	Цена за 1 м ² при реализации по рыночной цене	48 000	руб./м ²
15	Выручка от продаж в рамках проекта	679 440 000	руб.
16	Выручка от продаж на рынке	214 560 000	руб.
17	Сумма доходов от реализации	894 000 000	руб.
18	ФОТ в месяц	600 000	руб./мес.
19	Взносы во внебюджетные фонды	30,2 %	
20	ФОТ с налогами в месяц	781 200	руб./мес.

Расчет удельной себестоимости строительства производился на основе договорных цен по видам строительных, монтажных, отделочных и специальных работ, а также среднерыночной стоимости материалов и комплектующих. Удельная себестоимость строительно-монтажных, отделочных и иных видов работ на территории города Белгорода сложилась в размере 38 012 рублей за 1 квадратный метр.

Для реализации предложенного механизма на стадии строительства используется 3 источника финансирования: единовременный взнос участников программы; средства областного бюджета и займ.

В результате реализации проекта по предложенной модели денежный поток нарастающим итогом составит 12 799 тыс. руб., при этом будет построено и введено в эксплуатацию 745 квартир

(22 350 кв.м. жилой площади) и обеспечено доступным жильем 596 молодых специалистов и их семей, приобретающих квартиры по данному проекту (табл. 3).

В расходы заказчика-застройщика включен фонд оплаты труда из расчета 15 человек со средней месячной заработной платой в размере 40 000 руб.

Таким образом, финансово-экономический механизм разработанной модели предполагает возможность применения как на базе государственных структур (ГУП, МУП, департаментов и т.п.), так и частными обществами с различной формой собственности. Источники финансирования таких программ могут варьироваться в зависимости от Оператора, вводных данных и желаемых технико-экономических показателей по итогам реализации.

Таблица 3

Технико-экономические показатели реализации модели

№ п/п	Наименование показателя	Ед. измер.	Значение
1	Обеспечение доступным жильем	чел.	596
2	Объем ввода льготного жилья	кв.м.	17 880
3	Величина привлеченных инвестиций на этапе строительства	тыс. руб.	718 832
4	Остаток долга участников	тыс. руб.	475 608
5	Выручка от продажи рыночных квартир	тыс. руб.	214 560
6	Стоимость строительства	тыс. руб.	849 558
7	Возврат займа и средств бюджета	тыс. руб.	515 000
8	Проценты к получению	тыс. руб.	36 000
9	Проценты к уплате	тыс. руб.	55 625
10	Расходы заказчика-застройщика	тыс. руб.	12 018
11	Финансовый результат	тыс. руб.	12 799

Выводы. Реализация данной модели в рамках регионального проекта уже в ближайшее время позволит решить ряд задач:

- ✓ предоставить возможность улучшения жилищных условий по доступной цене и на льготных условиях молодым специалистам и их семьям;
- ✓ улучшить социально-экономическую обстановку в сфере строительства и недвижимости;
- ✓ разработать механизм, представляющий альтернативу ипотечному кредитованию и государственному субсидированию населения на безвозвратной основе;
- ✓ повысить инвестиционную привлекательность региона;
- ✓ осуществить поддержку среднего и малого предпринимательства на территории области путем привлечения местных подрядчиков и поставщиков материалов и комплектующих;
- ✓ увеличить объем налоговых выплат в бюджет;
- ✓ создать дополнительные рабочие места.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Березина Е.Л. Доступность жилья в системе качества жизни населения региона: социально-экономические факторы и проблемы измерения: на примере Тюменской области: диссертация на соиск. степ. кандидата социологических наук : 22.00.03 / Березина Екатерина Львовна; [Место защиты: Тюмен. гос. ун-т]. Тюмень, 2013. 192 с
2. Воейков М., Анисимова Г. Социальный контекст экономического неравенства в России // Общество и экономика. 2017. №10. С. 95–117
3. Гудименко Г.В. Жилищная политика как фактор повышения уровня и качества жизни населения [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.rusnauka.com/8_NND_2010/Economic/s/60359.doc.htm

4. Никитенко Е.В. Анализ уровня доступности жилья [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-urovnya-dostupnosti-zhilya>

5. Официальный портал города Иркутска [Интернет-источник] Режим доступа: <http://admirk.ru/Pages/Podprogramma-Sodeistvie-jilischnomu-stroitelstvu-municipalnoi-programmy-Jilische-na-2013-2019-gody.aspx>

6. Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 01.03.2018 «Послание Президента Федеральному Собранию» [Интернет-источник] Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291976/

7. Санкт-Петербургский центр доступного жилья [Интернет-источник] Режим доступа: <http://gorcenter.spb.ru/company>

8. Селиверстов Ю.И., Шевченко М.А. Проблемы обеспечения жильем молодых семей: рынок недвижимости и доходы граждан / Экономика. Общество. Человек: межвузовский сборник научных трудов. Вып. XXXII // науч. ред. проф. Е.Н. Чиждова; Белгор. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова; Белгор. регион. отд-е РАЕН. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017.

9. Селиверстов Ю.И., Шевченко М.А. Обеспечение населения доступным жильем: опыт регионов // Управление городом: теория и практика. Белгород: МАУ «ИМПСИ». 2018. № 1 (28). С. 10–18.

10. Федеральная служба государственной статистики Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat.ru/statistics/population/housing/#

11. Федеральная служба государственной статистики по Белгородской области. Режим доступа: http://belg.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/belgru/statistics/grp/

Информация об авторах

Селивёрстов Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор. E-mail: urisel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шевченко Мария Алексеевна, аспирант. E-mail: shevchenko.mv@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2018 г.

© Селивёрстов Ю.И., Шевченко М.А., 2018

¹**Seliverstov Yu.I., ¹ * Shevchenko M.A.**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: shevchenko.mv@bstu.ru

ECONOMIC MODEL OF PROVIDING POPULATION WITH AVAILABLE HOUSING

Abstract. At present, within the framework of the federal concept of improving the Russians' life quality, the issue of upgrading the living conditions of citizens is especially acute. The current and previous mechanisms of federal, regional and municipal programs and projects to ensure availability and amenities of housing are based on two key tools: government subsidies (mainly from the federal budget) and the discounting of the interest rate on mortgages for certain categories of citizens. Such mechanisms did not bring significant results, and that's why the considered in this article problem of providing population with available and high-quality housing still remains urgent. The theoretical and methodological basis of the research is the complex analysis and system approach to the consideration of the decrees and orders of the Government of the Russian Federation in the field of improving housing conditions, programs and projects aimed at solving the problem under consideration, methodological recommendations of academic economists and practical workers, and also academic papers devoted to the housing problems and the quality of life of the population. The possibility of improving housing conditions is a complex problem, in which the demographic and socio-economic characteristics of the current standard of living of the population, the parameters of the credit and financial system, price and tariff policies in the sphere of housing construction and housing and utility services are closely intertwined. However, at present one of the key factors preventing the improvement of the living conditions of citizens is the level of their incomes. That is why the main factor of the model of providing population with housing considered in this article is the privileged conditions and the affordable price of real estate.

Keywords: regional programs, available housing, economic model of housing problem.

REFERENCES

1. Berezina E.L. Dostupnost of housing in the quality system of life of the population of the region: social and economic factors and problems of measurement: on the example of the Tyumen region: the thesis on соиск. step. candidate of sociological sciences: 22.00.03. Berezina Ekate-rina Lvovna; [Place of protection: Tyumen. state. un-t]. Tyumen, 2013. 192 p.
2. Voyeykov M., Anisimova G. A social context of economic inequality in Russia. Society and economy, 2017, no. 10. pp. 95–117.
3. Gudimenko G. V. Housing policy as factor of increase in level and quality of life of the population [Electronic resource] access Mode: http://www.rusnauka.com/8_NND_2010/Economics/60359.doc.htm
4. Nikitenko E.V. Analysis of level of availability of housing [Electronic resource] access Mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-urovnya-dostupnosti-zhilya>

5. Official portal of the city of Irkutsk [Internet source] access Mode: <http://admirk.ru/Pages/Podprogramma-Sodeistvie-jilischnomu-stroitelstvu-municipalnoi-programmy-Jilische-na-2013-2019-gody.aspx>
6. The message of the Russian President to Federal Assembly of 01.03.2018 "the Message of the President to Federal Assembly" [the Internet is a source] the access Mode: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291976/
7. St. Petersburg center of affordable housing [Internet source] access Mode: <http://gor-center.spb.ru/company>
8. Seliverstov Yu.I., Shevchenko M.A. Problems of provision of housing for young families: real estate market and income citizens. Economy. Society. Person: interuniversity collection of scientific works. Issue XXXII. nauch. edition of the prof. E.N. Chizhov; Belgor. state. технол. un-t of V.G. Shukhov; Belgor. region. to an otd-a of the Russian Academy of Natural Sciences. Belgorod: BGTU publishing house, 2017.

9. Seliverstov Yu.I., Shevchenko M.A. Providing population with affordable housing: experience of regions. Management of the city: theory and practice. Belgorod: MAU "IMRSI". 2018, no. 1 (28), pp. 10-18.

10. Federal service of the state statistics access Mode: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/housing/#

11. Federal service of the state statistics on the Belgorod region. Access mode: http://belg.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/belg/ru/statistics/grp/

Information about the author

Seliverstov, Yuriy I. DSc, Professor. E-mail: urisel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shevchenko, Maria A. Postgraduate student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in July 2018

Для цитирования:

Селивёрстов Ю.И., Шевченко М.А. Экономическая модель обеспечения населения доступным жильем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 149–156. DOI: 10.12737/article_5bd95a7e579937.27913541

For citation:

Seliverstov Yu.I., Shevchenko M.A. Economic model of providing population with available housing. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 149–156. DOI: 10.12737/article_5bd95a7e579937.27913541

DOI: 10.12737/article_5bd95a7f7bb9d6.94467671

¹*Оспищев П.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: nich_unir@mail.ru

ОТРАСЛЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ РЫНКА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОМ СЕКТОРЕ

Аннотация. В статье рассматриваются отраслевые особенности мирового и российского рынков 3D-печати материалами на цементной основе (бетонами). Анализируются тенденции мирового рынка строительной печати на основе аддитивных технологий, а также перспективная динамика его развития в разных временных интервалах. Рассматриваются преимущества и недостатки использования инновационных технологий в современном российском строительном секторе. Выделяются ключевые факторы, оказывающие влияние на развитие российского рынка строительной печати, а также анализируются его особенности и тенденции. Делается вывод о рыночных перспективах практического использования аддитивных технологий в строительном секторе, а также определяется их потенциальная значимость для экономики страны в целом.

Ключевые слова: строительные 3D-принтеры, 3D-печать бетоном, аддитивное производство, инновации в строительном секторе, инновационные технологии.

Введение. Современная экономическая действительность показала, что обеспечение качественного и количественного роста эффективности основных процессов в хозяйственном комплексе страны на современном этапе его развития не может осуществляться без инновационных решений востребованных рынком. Одной из областей где инновационные решения способны дать новый импульс к поступательному развитию и, как следствие, развитию смежных областей, является строительный сектор.

Инновационное развитие строительного сектора должно осуществляться в трёх ключевых плоскостях, в частности, это: 1) развитие производственно-технической базы, 2) развитие сырьевой и материальной базы, 3) развитие технологической базы (новых методов строительства). Причём развитие данных областей должно быть синхронным, так как асинхронное развитие нивелирует максимальную эффективность. Одной из перспективных инноваций в строительном секторе является разработка и развитие 3D-принтеров, способных печатать материалами на цементной или иной основе. Данное оборудование основано на использовании технологии аддитивного производства.

Аддитивное производство (быстрое прототипирование или 3D-печать) – это метод изготовления, где слои материала наносятся друг на друга для создания твердого объекта. Аддитивное производство имеет много преимуществ по сравнению с традиционными технологиями, в частности, это скорость производства, низкие издержки, изготовление сложных единичных изделий и прочее. Вектор развития современной промышленности, а также задачи, стоящие перед различными отраслями и сферами деятельности,

сделали возможным развитие практики аддитивного производства и предопределили основные требования к продукции, получаемой за счёт данной технологии [1, 2].

Современные строительные 3D-принтеры – это совокупность самостоятельных машин и иного технологического оборудования разного уровня сложности, объединённых между собой, и представляющих единую технологическую линию, обеспечивающую процесс 3D-печати изделия с заданными параметрами. Основными материалами, используемыми в процессе 3D-печати, являются различные смеси на цементной основе, обладающими свойственными им характеристиками, позволяющими создавать изделия разного уровня сложности, как по структуре, так и по геометрии.

Более широкое использование технологии 3D-печати в строительном секторе по сравнению с другими странами получило в Китае, где на данный момент имеется наибольшее количество возведённых данным методом строений. Это объясняется потребностью Китая в площадях, а также сформировавшейся производственной и технологической базой. С 2016 года китайский опыт возведения и создания помещений с помощью 3D-принтера начал переноситься в ОАЭ, где общая потребность в жилой и коммерческой недвижимости составляет около 30 млн. м². Наряду с Китаем и ОАЭ интерес к 3D-печати бетоном начали проявлять такие страны как Египет, Ирак и Сирия, а также ряд стран Африки и Латинской Америки. По мнению специалистов, широкое распространение серийного производства типовых многоквартирных и индивидуальных домов с помощью 3D-принтеров является вопросом

ближайшего будущего, что предопределяет потенциал аддитивного производства изделий и объектов строительного назначения в перспективе.

Основные тенденции развития мирового рынка 3D-печати бетоном. Согласно результатов отчёта аналитического агентства «Markets and Markets» объем рынка 3D-печати бетоном по итогам 2015 года составил 24,5 млн. долл. США. По их прогнозу к 2021 году он может вырасти до 56,4 млн. долл. США. Следовательно, ежегодный прирост рынка, по мнению агентства, должен составить около 15 %. Исходя из прогнозируемой динамики, на 2017 год объём рынка должен составить около 33 млн. долл. США. Вместе с тем, по результатам собственного исследования агентство «Market research future» оценило мировой рынок 3D-печати бетоном в 98 млн. долл.

США, при этом средний темп роста (по динамике рынков США, стран Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона) оценивается в 20 % до 2023 года.

По нашим оценкам в ближайшее время не стоит ожидать резкого роста объема мирового рынка 3D-печати бетоном, так как большинство разрабатываемых моделей на конец 2017 года находятся в состоянии тестовых испытаний, конструкторских доводок и подбора рабочих смесей для разных условий печати. Резкий рост рынка 3D-печати бетоном следует ожидать не ранее 2020 года, что связано, в первую очередь, с практикой широкого применения данной техники и результатами эксплуатации созданных ранее объектов (табл. 1 и рис. 1).

Таблица 1

Объем мирового рынка 3D-печати бетоном, млн. долл. США

Источник	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Агентство Markets and Markets (прогноз 2015 г.)	24,5	28,2	32,4	37,3	42,9	49,3	56,4
Экспертная авторская оценка (прогноз 2016 года)	-	21,6	30,8	56	84	147	175
Агентство Market research future (прогноз 2017 г.)	x	x	98	117,6	141,12	169,3	203,2

Источник: www.3dtoday.ru, www.marketsandmarkets.com, www.marketresearchfuture.com



Рис. 1. Объем и прогнозная динамика мирового рынка 3D-печати бетоном, млн. \$

При определении данных значений агентства опирались на собственные исследования, в основе которых лежали опросы производителей оборудования, а также объёмы заказов на строительном рынке и подрядных строительных работ.

Наибольший интерес к строительным 3D-принтерам, как было определено выше, прояв-

ляет Китай, страны Ближнего Востока (Ирак, Сирия), Египет, Индия, а также ряд стран Африки и Латинской Америки. Совокупная потребность в дешёвой жилой и коммерческой недвижимости в данных регионах огромна. Например, согласно планам, утвержденным Госсоветом КНР, с 2011 по 2015 год по программе доступного жилья было реализовано 36 млн. квартир, т.е. ежегодно

сдавалось в среднем по 7,2 млн. квартир ежегодно. При этом по программам, принятым на 2016–2020 гг. темпы ввода нового жилья должны увеличиться на 15–20 %. Данная программа позволит обеспечить собственным комфортным современным жильём около 30 % населения страны. Наряду с жилищным строительством, приняты аналогичные программы по промышленному строительству. Не менее интересными являются строительные рынки Ирака и Сирии. В связи с военными действиями, проходящими на территории данных государств, значительное количество зданий, сооружений и элементов инфраструктуры было разрушено. Окончание активных боевых действий поставит перед государством задачи по восстановлению разрушенной инфраструктуры и, как следствие, сформирует спрос на строительные материалы и услуги, в том числе и на изделия, полученные с помощью 3D-печати, в силу географических и климатических особенностей Ближнего Востока, а также уровнем их платежеспособности. Кроме этого, решение проблем обеспеченности населения жильём стоит и в Индии, ряде государств Африки и Латинской Америки. В некоторых странах 3D-печать бетоном рассматривается как альтернативная технология восстановления зданий и сооружений после природных катаклизмов, а также реализации различных программ капитального ремонта существующего жилого фонда и объектов коммерческой недвижимости. Таким образом, к 2021 году исходя из динамики развития строительных рынков стран и производственных мощностей, при сохранении существующих тенденций, следует ожидать увеличение объема рынка 3D-печати бетоном в среднем от 150 до 200 млн. долл. США с ежегодными темпами роста в 18–22 %.

Исследование существующей рыночной динамики, а также текущих отраслевых тенденций

позволило сделать вывод о том, что до 2019 года рынок 3D-печати бетоном не сможет превысить 40 млн. долл. США. Рост рынка в основном будет формироваться за счёт спроса на изделия в корпоративном секторе (производство сложных изделий или элементов конструкций), при этом, несмотря на существующий интерес со стороны крупных производителей, устойчивый спрос на потребительском рынке может сформировать лишь к 2021–2022 году.

Особенности мирового рынка 3d-печати бетоном. Рынок 3D-печати бетоном является сложным и неоднородным образованием, включающим несколько самостоятельных областей, в частности:

- рынок строительных 3D-принтеров (принтеров, печатающих бетоном или иными смесями на основе цемента, включенных в агрегированную производственную систему, состоящую непосредственно из самого принтера и дополнительных механизмов);
- рынок специальных бетонов для аддитивной печати, используемых в качестве расходных материалов для строительных 3D-принтеров;
- рынок строительных, архитектурных, дизайнерских услуг;
- рынок специализированного программного обеспечения.

На рис. 2 представлена структура мирового рынка 3D-печати бетоном по объёму продаж в денежном выражении. Наибольший объём продаж приходится на расходные материалы, что объясняется постоянной потребностью в смесях, пригодных для использования в технологии 3D-печати, а также постоянным совершенствованием рецептуры смесей посредством комбинирования бетонов с различными функциональными добавками.

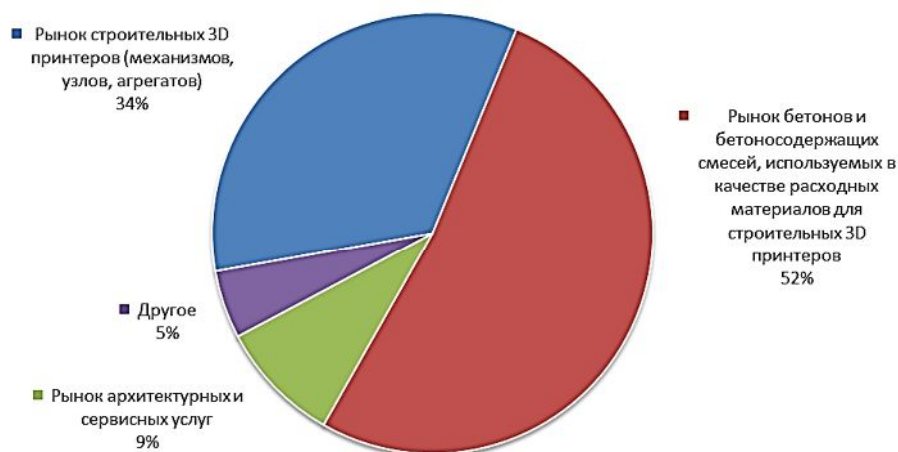


Рис. 2. Поэлементная структура мирового рынка 3D-печати бетоном, %
(Источник: www.3dtoday.ru)

Несмотря на кажущуюся самостоятельность, данные элементы находятся во взаимной зависимости, определяемой существующими рыночными тенденциями, а также существующей технико-технологической базой.

Рынок 3D-печати бетоном состоит из трёх основных сегментов:

1. Жилищное строительство;
2. Промышленное строительство;
3. Создание различных архитектурных форм.

Наибольшую долю рынка занимает 3D-печать жилых зданий. Данная тенденция обуславливается постоянно растущим спросом на жилые строения, с определенными требованиями по техническому оснащению, инвестициям, экологичности и пр. Данной тенденции способствует существующие темпы урбанизации и увеличения количества населения. Промышленное использование строительных 3D принтеров, по сравнению с жилищным сектором, имеет меньшую долю рынка, ввиду специфики получаемого продукта и её узкой направленностью. Архитектурное использование строительных 3D принтеров, также имеет не значительную долю в общем объеме производства, в связи с незначительными объемами требуемой продукции.

Широкое распространение аддитивные технологии в рассматриваемых областях ещё не получили в основном из-за того, что современное цифровое производство не обладает всеми нужными характеристиками для того, чтобы стать одним из методов массового строительства

По результатам исследований, проводимых различными агентствами, можно утверждать, что с 2015 года начинается постепенная адаптация 3D-печати бетоном к требованиям, предъявляемым к современному жилью, при котором тестовые и экспериментальные образцы оборудования постепенно переходят к серийному производству.

На современном рынке 3D-печати бетоном можно заметить диссонанс между возводимыми (создаваемыми) объектами и количеством разработок в данной области. В частности, наибольшее количество строительных и иных архитектурных объектов, созданных с помощью 3D-принтеров, приходится на страны Азиатско-Тихоокеанского региона (в основном на Китай и Индию). При этом наибольшее количество реализуемых технологических решений, как в области оборудования, так и расходного материала приходится на страны Европы (Нидерланды, Италия, Великобритания).

Наряду с нарастающей конкуренцией производителей оборудования для 3D-печати бетоном,

начинает усиливаться конкуренция среди производителей расходных материалов, предлагающих свои рецептуры смесей и добавки к ним. Так, с 2014 по 2016 год было разработано около 20 видов различных добавок для печати с помощью 3D-принтеров, влияющих на скорость твердения и пластичность используемого материала. Практически в большинство групп компаний-разработчиков оборудования для 3D-печати бетоном входят производители цемента и иных подобных материалов. Несмотря на это, 60 % разработанного оборудования ориентируется на использование не специальных растворов, а стандартных строительных смесей на основе цемента. Кроме этого, существует достаточно большое количество предприятий-производителей специальных добавок, влияющих на время твердения бетона. Среди импортных производителей специалисты выделяют продукцию компаний Meycosa, BASF (Delvo Grete), Sika (Sigunit), Mapei (Mapequik), MC Bauchemia. Среди отечественных производителей ускорителей выделяют компанию Полипласт (Реламикс Торкрет) Эм-Си Баухеми (Центрамет Рапид), Т-Хим.

Около 20 % разработанных и тестируемых моделей 3D-принтеров являются разработками, создаваемыми для программ освоения Луны (построения объектов на поверхности Луны с целью размещения космонавтов, космических аппаратов и иных специальных технических средств), что повлияло на конструктивные особенности оборудования и используемые расходные материалы. Данные проекты более сложные в технологическом плане, относительно изделий, ориентированных непосредственно на «земное» использование. По мере тестирования созданных прототипов и их практической апробации большая часть разработок начинает ориентироваться на коммерциализацию и начало потребительской эксплуатации. По мере развития нормативно-правовой базы, регулирующей особенности создания объектов недвижимости с помощью 3D-принтеров, количество коммерциализированных типов оборудования увеличится, а также увеличится предлагаемый модельный ряд.

Российский рынок 3d-печати бетоном: особенности, тенденции, факторы. На сегодняшний момент российский рынок 3D-печати бетоном находится на ранней стадии своего развития, при этом эксперты не ожидают быстрого роста сегмента в среднесрочной перспективе. Данный рост стоит ожидать с некоторой временной «оттяжкой», связанной необходимостью технологической, продуктовой и рыночной адаптации потребителей, а также с преодолением противодействия представителей традиционных технологических решений. Российский рынок 3D-печати

бетоном напрямую зависит и определяется в основном тенденциями, происходящими на строительном рынке, а также тенденциями в области архитектуры и декоративного оформления.

В России технология 3D-печати бетоном широко применяется при создании малых архитектурных форм. Их доля составляет около 40 % от всех произведенных аддитивным методом изделий строительного назначения. Кроме этого,

3D-принтеры также широко используются при производстве мастер-моделей, используемых в дальнейшем в производстве изделий методом литья. Основные сферы применения технологии 3D-печати бетоном в России по итогам 2016 года по количеству произведенных изделий и созданных объектов представлены на рис. 3.

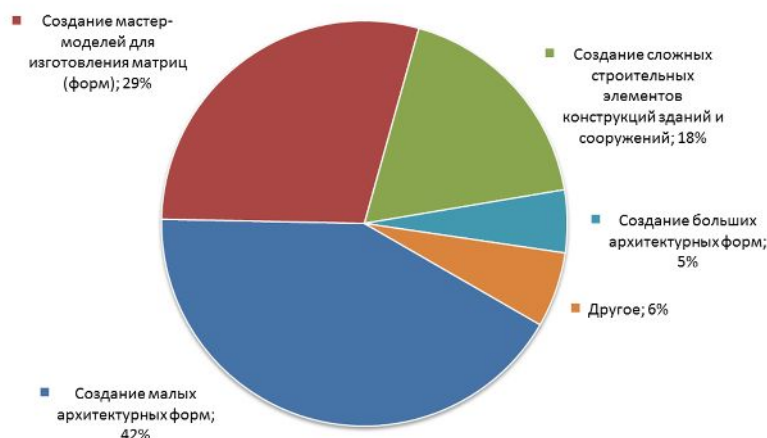


Рис. 3. Сферы применения технологии 3D-печати бетоном в России в 2016 году (по количеству созданных объектов) (авторская оценка)

Использование аддитивных технологий в выделенных областях не может дать резкого толчка к их развитию ввиду небольшой конечной стоимости получаемых изделий и небольшой социально-экономической значимости.

В целом существующая динамика российского рынка 3D-печати бетоном имеет положительную динамику. Она определяется существующими тенденциями в строительной сфере, а

также запросом потребителей и застройщиков в быстром и качественном строительстве.

Объём российского рынка 3D-печати бетоном в 2016 году оценивался экспертами в среднем в 4,5 млн. \$. Средний темп роста данного рынка в среднесрочной перспективе составит около 5 %, а в долгосрочной до 7 % в год. В табл. 2 представлена прогнозная динамика объёма российского рынка 3D-печати бетоном на 2018–2022 годы.

Таблица 2

Объём российского рынка 3D-печати бетоном за период 2016 – 2022 гг. (млн. долл. США) (авторская оценка)

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Объём рынка	4,5	4,73	4,96	5,21	5,47	5,85	6,26

В 2016 на территории России было реализовано около 100 единиц 3D-принтеров различных модификаций, использующих в качестве рабочей смеси бетон и другие цементные растворы. Около 70 % техники произведено отечественными и китайскими предприятиями. По мнению большинства экспертов, доля отечественных разработок в совокупном объёме продаж будет снижаться по мере развития, адаптации и удешевления технико-технологических решений европейских производителей, и составит на конец 2022 года около 50 %. Большая часть приобретённой техники используется как самостоятельный технологический комплекс (84 %), при этом в

16 % случаях 3D-принтеры используются как часть более сложной технологической последовательности по созданию отдельных элементов конструкций.

Современный российский рынок 3D-печати бетоном имеет достаточно условные границы, формирующиеся за счёт динамики и конъюнктуры строительного рынка страны. Вследствие этого, структура факторов влияния при разных условиях развития рынка 3D-печати бетоном будет различна. Исследования рынка 3D-печати бетоном позволило выделить и оценить степень влияния факторов, влияющих на его развитие (табл. 3).

Оценка степени влияния выделенных факторов выполнена по результатам исследования тенденций и перспектив развития отрасли, на которые наиболее часто ссылаются производители и разработчики оборудования. В частности, были

проанализированы данные по загрузке производственных мощностей предприятий, выпускающих железобетонные изделия, объем фактических и перспективных строительных работ, тенденции и потребительские предпочтения в области индивидуального жилищного строительства.

Таблица 3

Факторы, оказывающие влияние на развитие российского рынка 3D-печати бетоном
(авторская оценка)

Фактор	Степень влияния, %
Существующие и используемые технологии строительства зданий и сооружений	78
Нормативно-правовые акты, определяющие требования к элементам конструкций, созданных с помощью технологии 3D печати	74
Существующие и используемые технологии производства строительных изделий и элементов конструкций	68
Сложившиеся схемы отношений производителей на строительном рынке, а также сформировавшиеся цепи поставок продукции	52
Тенденции в области проектирования и декорирования помещений	49
Ориентированность потребителей на использование технологии 3D печати бетоном при возведении индивидуальных строений и их декорировании	48
Уровень спроса на изделия, полученные с помощью 3D печати бетоном	42
Эстетичность и функциональность изделий, полученных с помощью технологии 3D печати бетоном	39
Другое	35

Одним из наиболее значимых и определяющих факторов, оказывающим влияние на развитие рынка 3D-печати бетоном в России, является отсутствие соответствующих СНиПов и других регулирующих документов, определяющих требования к структуре бетонной смеси, качественным характеристикам получаемых изделий и пр. Данное положение затрудняет самостоятельное использование технологии 3D-печати бетоном в массовом строительстве. При этом, индивидуальное строительство не сможет дать достаточный толчок развитию данной сферы деятельности. Также, существующие технологии 3D-печати бетоном недостаточно разработаны для строительной отрасли, и составить конкуренцию традиционному строительству не могут. Наряду с представленными в табл. 1 ключевыми факторами влияния, существуют и другие факторы, оказывающие влияние на развитие рынка 3D-печати бетоном, выделяемыми специалистами и исследователями в данной области. Так, при обзоре сценариев развития технологии 3D-печати, инженер С. Зотов выделяет 3 группы факторов, влияющих на российский рынок 3D-печати бетоном – 1) Дизайн; 2) Технологичность; 3) Материалы (табл. 4).

Несмотря на то, что технология 3D-печати обладает рядом преимуществ, она также не исключает ограничений для своего применения и использования. Общие ограничения в использовании 3D принтера представлены в табл. 5.

Выделенные факторы и ограничения, оказывающие влияние на развитие российского рынка 3D-печати бетоном, определяют те границы и условия, в которых и формируется данный сегмент и направления его развития.

Перспективы развития российского рынка 3d-печати бетоном. Индустрия 3D-печати переживает важнейший этап становления и развития, переходя из статуса высокотехнологичной, но имеющей неопределенные перспективы диковинки, в разряд необходимых в производстве и быту отрасли, способной гарантированно производить реальные, инновационные, сложные и качественные продукты с меньшими затратами материалов, электроэнергии и расходами на обслуживание. 3D печать, по мнению ряда специалистов, является новой вехой технологического развития.

Одной из областей, где технологии 3D-печати смогли найти своё применение, является строительство и архитектура. Строительная 3D-печать имеет свои особенности, в частности: процесс трехмерной печати использует столько материала, сколько требует объект; трехмерный процесс печати позволяет разработчикам проектировать структуры, которые трудно изготовить, используя текущую практику ручной работы; поскольку большинство трехмерных процессов печати сильно автоматизированы, то трудозатраты, необходимые в процессе

строительства, могут быть значительно уменьшены; при использовании 3D-печати время строительства сокращается практически в 2 раза

по сравнению с традиционной технологией строительства.

Таблица 4

Факторы и условия, оказывающие влияние на развитие российского рынка 3D-печати бетоном по С. Зотову [3]

Группа	Факторы влияния
ДИЗАЙН	1. Строительные 3D-принтеры, в первую очередь, позволяют отказаться от традиционных привязок к существующим стандартным размерам строительных элементов. Аддитивные технологии позволяют сосредоточиться исключительно на назначении строительных объектов и изделий, на особенностях его использования без привязки к существующим строительным элементам. Кроме этого, строительные объекты, имеющие индивидуальную архитектурную форму, не будут отличаться от стоимости зданий и сооружений, имеющих типовую стандартную форму. 2. Аддитивные технологии позволяют наиболее полно раскрыть фантазию дизайнера или архитектора. По сути, изделия, получаемые с помощью 3D-принтера, могут быть любой формы, без существенных ограничений. Например, здание может проектироваться не только в горизонтальном разрезе, но и в вертикальном, не в этажах и уровнях, а, например, зонами и участками. Использование технологии 3D-печати, например, позволяет создавать здания без фундамента типа «кокон» на болотистом грунте и в условиях вечной мерзлоты. В холодном климате могут создаваться здания оптимизированной конструкции, имеющей минимальную площадь поверхности и наибольший полезный объём, что позволит, например, обеспечить экономии тепловой энергии и увеличить период автономного функционирования объекта. 3. Наряду с энергоэффективными конструкциями, аддитивные технологии можно использовать для быстрого создания купольных зданий сложных геометрических форм с минимальными издержками на строительство. Данная технология сможет разнообразить архитектурный ландшафт, в котором купола, своды и арки могут выступать как обычные элементы зданий и сооружений.
ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ	4. Использование 3D-принтера позволит автоматизировать некоторые этапы процесса строительства и снизить его трудоёмкость за счёт высвобождения рабочей силы и обеспечения круглосуточной работы. 5. Со снижением трудоёмкости использование 3D-принтера позволит сократить сроки строительства вследствие высокой производительности оборудования данного типа. 6. Использование 3D-принтера в строительстве как основной производственной единицы позволит добиться высокой прогнозируемости сроков строительства, что в свою очередь, позволит нивелировать риски нарушения плановых сроков сдачи и ввода готовых объектов. 7. Строительство с помощью 3D-принтера легко масштабируется до 2-3 этажного строительства. В высотном строительстве может быть применён как поэтажный перенос печатного оборудования, так и печать отдельных элементов на стационарном принтере, складывающихся по принципу «Lego». 8. Кроме использования 3D-принтера в области строительства зданий и сооружений, он может быть применён при производстве геометрических сложных объектов, используемых как элементы сборных строительных конструкций. 9. Внедрение технологии 3D-печати предполагает переход к роботизации производственных процессов, создание подобия конвейера, что в свою очередь заставит смежные отрасли встраиваться в данный процесс, и влиять на него.
МАТЕРИАЛЫ	10. Особенности функционирования и работы 3D-принтера позволяет получить многослойные тепло- и звукоизолированные изделия, различного функционального назначения. Также можно добиться чередования материалов, в зависимости от назначения, места и области использования изделия (строения). 11. 3D-принтер может использовать в процессе производства различные материалы, как уже имеющиеся, так и перспективные. Данная технологическая особенность обеспечивается за счёт сменности навесного оборудования (экструдеров) и перенастройки агрегатированной техники. 12. При создании изделий, используемых в дальнейшем в процессе строительства зданий и сооружений, на этапе проектирования и разработки 3D-модели здания, могут быть сразу созданы каналы для различных коммуникаций – электропроводки, вентиляции, систем водоснабжения, отопления и пр.

Группа	Факторы влияния
	13. Технология возведения зданий методом 3D-печати позволяет обеспечить максимальную эффективность в использовании строительных материалов, исключая их порчу, хищение, а также расточительство в использовании, ввиду наличия систем автоматической подготовки и подачи печатного материала к печатающей головке. Кроме этого, регулирование толщины стен по высоте здания позволит снизить затраты печатного материала. 14. Технология 3D-печати исключает образование на стройплощадке мусора, что оказывает благоприятное воздействие на экологию и окружающую среду, а также снижает издержки, связанные с перемещением, складированием и вывозом строительного мусора.

Таблица 5

Общие ограничения использования строительных 3D-принтеров и аддитивных технологий
[4, 5, 6]

Тип ограничения	Комментарии
Экономические	– использование 3D принтера нецелесообразно, если организация имеет ограничения и растянутые во времени графики финансирования строительства; строительство из блоков или кирпича, а также монолитное строительство позволяют прерывать и возобновлять процесс в зависимости от финансовых возможностей и наличия ресурсов; – для получения качественной бетонной смеси необходимо использовать бетон высоких марок, что увеличивает стоимость строительства; – стоимость эксплуатации и обслуживания 3D принтера значительно выше, чем стоимость обслуживания обычной строительной техники и стандартной организации труда рабочих.
Химические	Химические ограничения касаются особенностей использования добавок, усиливающих действие для бетона, без опасности ухудшения его качества на всех этапах работы оборудования (например, в момент нахождения рабочей смеси в печатающей головке она не должна застывать и застаиваться, а при формировании слоя необходимо обеспечить быстрое схватывание и твердение смеси для непрерывного нанесения последующих слоёв и обеспечения требуемого уровня связки между ними)
Технологические	– особые требования к строительной площадке – месту расположения принтера (например, если используется строительный принтер на рельсовом ходу, то необходима ровная площадка для укладки направляющих рельсов; если конструкция 3D принтера не предполагает изменение местоположения опор в пространстве при работе, то необходимо обеспечить соблюдение вертикального и горизонтального уровня для опор принтера); – обеспечение высокой подвижности бетонной смеси на мелком заполнителе, для того, чтобы можно было обеспечить её транспортировку по бетоноводу с помощью насоса, и в то же время, её быстрой схватываемости и сохраняемости; – особенности обеспечения эффективного функционирования всей технологической линии (т.е. ограничения, связанные с обеспечением технологического процесса электроэнергией, постоянной подачей рабочей смеси и пр.); – двух или четырёх опорная конструкция требует определённой конфигурации и устройства строительной площадки, что в свою очередь будет вызывать сложности при монтаже принтера, и, как следствие, сложность в использовании при различных ограничениях по месту размещения. При этом многочленная консольная конструкция манипуляторного типа будет обладать небольшой жесткостью, и обеспечивать невысокую скорость работ; – технология 3D печати может применяться только на одном участке строительства, т.к. её перемещение, во-первых, нарушит протекание технологического процесса, а, во-вторых, транспортировка является сложным и ответственным процессом; – отсутствие возможности подачи на большую высоту, т.к. смесь начинает затвердевать еще в трубопроводе; – сложность армирования конструкции, что делает невозможным применение технологии в многоэтажном строительстве, а также в геонеустойчивых районах;

Тип ограничения	Комментарии
	– эффективное функционирование комплекса будет зависеть от программного обеспечения, позволяющего осуществлять оперативное управление основными технологическими процессами, отражать необходимые параметры и пр.;
Нормативно-правовые	На настоящий момент нормативная и законодательная база, определяющая особенности использования и эксплуатации 3D принтера отсутствует, что ограничивает его применение в массовой застройке и использование строительными компаниями. Вследствие этого, устройства данного типа применяются в основном в малоэтажном строительстве, а также для производства малых архитектурных форм.
Материальные	Основным препятствием в развитии технологии строительной 3D печати является отсутствие строительного материала, который был бы прочным, быстро застывал и держал форму. Традиционные бетон здесь не подходит, а новые материалы, рецептура которых предлагается непосредственно разработчиками данного оборудования, требуют тщательных и долговременных испытаний. Поэтому прежде чем возводить 3D-дома разработчики ориентируются на печать отдельных элементов, блоков, которые впоследствии могут быть использованы для серийного строительства полноценных зданий и сооружений.

В области строительной 3D-печати шли и продолжают идти активные эксперименты, результатом которых стало создание и производство первых серийных образцов. В ближайшее время строительная 3D-печать, скорее всего, начнет выходить на массовый рынок и найдет своё широкое распространение там, где имеется высокий интерес в создании простых типовых и быстровозводимых строительных объектов (в основном это страны Азии и Ближнего Востока). Однако, на наш взгляд, не стоит ожидать начала повсеместного использования новых технологических решений и подходов в строительстве, вследствие недостаточной развитости нормативно-правовой базы, а также сформировавшихся традиций в применении существующих технологий.

На сегодняшний момент, строительная 3D-печать используется при создании малых архитектурных форм и элементов строительных конструкций. Вместе с тем наблюдается тенденция к созданию больших архитектурных форм и помещений только посредством 3D печати, на что указывает существующие разработки и исследования.

Широкое распространение 3D-печати в строительстве обещает принести с собой высокую автоматизацию строительных процессов, предельное упрощение технологических цепочек в строительной отрасли, снижение доли ручного труда в строительстве, так же, как и вообще в строительной индустрии. Данные тенденции позволят сделать строительство намного быстрее и дешевле, что повлечет за собой значительное снижение стоимости строительства жилья и различных конструкций.

Трёхмерная печать является тем решением, которое способно решить многие проблемы в

строительной отрасли. Однако, существует несколько требований, таких как масштаб проекта и материалы для печати, которые должны быть выполнены для того, чтобы технология печати имела максимальный потенциал. Эти требования ограничивают использование трёхмерной печати в строительной отрасли. Тем не менее, по мере совершенствования технологии для устранения ограничений, применимость трёхмерной печати будет соответствующим образом расширена.

Выводы. Специалисты отмечают, что интенсивное развитие 3D-строительства как в России, так и других странах получит своё развитие в следующем десятилетии после того, как будет пройден этап научных исследований и необходимых сертификаций. Кроме этого, должно сформироваться потребительское понимание особенностей и принципов возведения объектов с помощью строительных 3D принтеров, а также их отличий от традиционных подходов к строительству.

Несмотря на значительные преимущества по сравнению с традиционными технологиями, на данный момент 3D-строительство не может использоваться в качестве ведущей, способной заменить многие традиционные методы производства. Потенциал технологии ограничивается отсутствием широкомасштабной реализации, развитием моделирования информации о зданиях, требованиями массовой застройки и стоимостью жизненного цикла печатных проектов. Поэтому ожидается, что в этих областях будут проводиться дальнейшие интенсивные исследования в целях расширения применимости трёхмерной печати в строительной отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елистраткин М.Ю., Лесовик В.С., Алфинова Н.И., Глаголев Е.С. О развитии технологий строительной печати // Вестник Белгородского

государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 5. С. 11–19.

2. Оспищев П.И. Конструктивное и деструктивное влияние технологии 3D-печати на инновационное развитие строительного сектора // В сб.: Application of new technologies in management and economy (ANTiM 2018). Belgrade, 2018. Т.2. С. 365–381.

3. Технология 3D печати зданий, сооружений и отдельных архитектурных форм. Обзор сценариев развития [Электронный ресурс]. URL: <http://evo7day.ru/text/text-3d-review.pdf> – Загл. с экр. (дата обращения: 18.10.2017).

4. 3D принтер в строительстве малоэтажных домов [Электронный ресурс]. URL:

<http://www.helpbeton.ru/3d-printer-v-stroitelstve-maloetazhnykh-domov-segodnyashnyaya-realnost.html> – Загл. с экр. (дата обращения: 20.10.2017).

5. Первый опыт печати зданий на 3D-принтере [Электронный ресурс]. URL: 3dto-day.ru/blogs/specavia/first-experience-printing-on-building-a-3d-printer - (дата обращения: 19.10.2017).

6. Технология 3D печати зданий, сооружений и отдельных архитектурных форм. Обзор сценариев развития [Электронный ресурс]. URL: <http://evo7day.ru/text/text-3d-review.pdf> – Загл. с экр. (дата обращения: 18.10.2017).

Информация об авторах

Оспищев Петр Иванович, заместитель начальника Управления научно-исследовательских работ. E-mail: nich_unir@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2018 г.

© Оспищев П.И., 2018

^{1,*}*Ospishchev P.I.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

^{*}*E-mail: nich_unir@mail.ru*

INDUSTRY CHARACTERISTICS AND DYNAMICS OF MARKET INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION SECTOR

Abstract. The article reviews industry characteristics of the global and Russian 3D printing in construction markets with cement-based materials. The trends of global construction printing industry based on additive technologies and development dynamics at different time intervals are examined. Advantages and disadvantages of using innovative technologies in the modern Russian construction sector are considered. The key factors that influence the development of Russian market of construction printing, features and trends are analyzed. The conclusion is reached about perspectives to use additive technologies in construction market and its potential importance for economy.

Keyword: construction 3D printers, concrete 3D printing, additive manufacturing, innovations in construction industry, innovative technologies.

REFERENCES

1. Elistratkin M.Yu., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Glagolev E.S. On the development of construction printing technologies. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 5, pp. 11–19.

2. Ospishchev P.I. Constructive and destructive influence of 3D printing technology on the innovative development of the construction sector. In Proc. : Application of new technologies in management and economy (ANTiM 2018). Belgrade, 2018, vol. 2, pp. 365–381.

3. Technology of 3D printing of buildings, structures and individual architectural forms. Review of development scenarios [Electronic resource].

URL: <http://evo7day.ru/text/text-3d-review.pdf> - Title. from the screen (the date of the appeal: 10/18/2017).

4. 3D printer in the construction of low-rise buildings [Electronic resource]. URL: <http://www.helpbeton.ru/3d-printer-v-stroitelstve-maloetazhnykh-domov-segodnyashnyaya-realnost.html> - Title. from the screen (the date of the appeal: 10/20/2017).

5. The first experience of printing buildings on a 3D-printer [Electronic resource]. URL: 3dto-day.ru/blogs/specavia/first-experience-printing-on-building-a-3d-printer - (appeal date: 10/19/2017).

6. Technology of 3D printing of buildings, structures and individual architectural forms. Review of development scenarios [Electronic resource].

URL: <http://evo7day.ru/text/text-3d-review.pdf> - Title. from the screen (the date of the appeal: 10/18/2017).

Information about the author

Ospishchev, Petr I. E-mail: nich_unir@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in July 2018

Для цитирования:

Оспищев П.И. Отраслевые особенности и динамика развития рынка инновационных технологий в строительном секторе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 157–167. DOI: 10.12737/article_5bd95a7f7bb9d6.94467671

For citation:

Ospishchev P.I. Industry characteristics and dynamics of market innovative technologies in the construction sector. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 157–167. DOI: 10.12737/article_5bd95a7f7bb9d6.94467671

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА ICAM-2019 ПО НАПРАВЛЕНИЯМ

1. Геометаллургия, технологическая минералогия и процессы переработки минерального сырья.
2. Индустриальные минералы, драгоценные камни, руды и добыча полезных ископаемых.
3. Нефтяные и газовые коллекторы, в том числе газовые гидраты.
4. Аналитические методы, приборы и автоматизация.
5. Перспективные материалы с улучшенными характеристиками, в том числе техническая керамика и стекло.
6. Строительное материаловедение.
7. Биомиметические материалы на минеральной основе, биоминералогия.
8. Окружающая среда и энергетические ресурсы.
9. Культурное наследие, артефакты и их сохранность.

Контрольные сроки подачи докладов: 1 декабря 2018 г.



МАТЕРИАЛЫ КОНГРЕССА

Материалы Конгресса будут опубликованы издательством Springer отдельным сборником (международная библиографическая база данных Scopus).

Участники представляют материалы доклада с оригинальными научными результатами на английском языке в рамках тем научной программы. Ссылка для подачи материалов доклада доступна в личном кабинете участника после оплаты регистрационного взноса. Материалы доклада оформляются по шаблону, размещённому на сайте Конгресса.

Регистрационный взнос Конгресса, который предусматривает издание трудов, участие во всех мероприятиях Конгресса (заседания, выставка), кофе-брейки, обеды, экскурсию на Лебединский ГОК, до 1 декабря 2018 года составляет льготную сумму в размере 300 евро (для российских участников в рублёвом эквиваленте на день оплаты). Студенты, аспиранты и докторанты, а также неработающие пенсионеры могут принять участие в Конгрессе, заплатив специальный регистрационный взнос в размере 150 евро при представлении документа, подтверждающего указанный статус.

Планируется проведение НАУЧНЫХ ШКОЛ ведущих ученых в области прикладной минералогии на платформе конгресса.

Для получения дополнительной информации о спонсорстве, пожалуйста, свяжитесь с нами.

Подробная информация
на geo.komisc.ru/icam2019

По всем вопросам можно обращаться:
kotova@geo.komisc.ru

ТРАНСПОРТ



Конгресс состоится на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

Добраться до Белгорода из Москвы и Санкт-Петербурга можно самолётом (показано на карте) и по железной дороге: из Москвы два ежедневных высокоскоростных поезда отправляются с Курского вокзала, время в пути около 7 часов.

В рамках Конгресса будет работать ВЫСТАВКА аналитического оборудования известных в мире фирм, нацеленных на потребности горнодобывающих, научно-исследовательских и других организаций, деятельность которых связана с прикладной минералогией.

На книжной ВЫСТАВКЕ участники смогут приобрести продукцию ведущих издательств.

Организаторы



Научное издание

«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 10, 2018 г.

Научно-теоретический журнал

Ответственный за выпуск Н.И. Алфимова
Компьютерная верстка С.Ю. Яшкина
Дизайн обложки Е.А. Гиенко

Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации ПИ №ФС77-26533

Сдано в набор 20.09.18. Подписано в печать 26.10.18. Формат 60×84/8

Усл. печ. л. 19,48. Уч.-изд. л. 20,88

Тираж 500 экз. Заказ 338. Цена договорная.

Все публикуемые материалы представлены в авторской редакции.

Адрес редакции: г. Белгород, ул. Костюкова, 46, оф. 724/4 Гк.

Номер сверстан в редакции научно-теоретического журнала

«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова».

Отпечатано в РИЦ БГТУ им. В.Г. Шухова