

ISSN 2072-2958

# АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

2014 №2(19)

РЕТНОНДАЯ

### Редакционный совет

Е.А. Ахмедова, чл.-кор. РААСН, д-р архитектуры, проф. (Самара)  
Ю.М. Баженов, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)  
И.А. Гарькина, д-р техн. наук, проф. (Пенза)  
А.М. Данилов, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Пенза)  
В.Т. Ерофеев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)  
Н.И. Карпенко, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)  
Е.В. Королев, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)  
В.С. Лесовик, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Белгород)  
В.Л. Мондрус, д-р техн. наук, проф. (Москва)  
В.В. Петров, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саратов)  
В.И. Римшин, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)  
В.П. Селяев, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)  
В.Н. Семенов, д-р экон. наук, проф. (Воронеж)  
Ю.П. Скачков, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Пенза)  
А.М. Сулейманов, д-р техн. наук, проф. (Казань)  
В.И. Травуш, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)  
С.В. Федосов, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Иваново)  
В.Д. Черкасов, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)  
Е.М. Чернышов, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Воронеж)

### Редакционная коллегия

И.А. Гарькина, д-р техн. наук, проф. (Пенза)  
О.В. Гринцова, канд. филол. наук, доцент (Пенза)  
Б.М. Гришин, д-р техн. наук, проф. (Пенза)  
А.М. Данилов, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Пенза)  
В.Т. Ерофеев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)  
В.И. Калашников, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Пенза)  
Е.В. Королев, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)  
Е.Г. Лапшина, канд. архитектуры, доцент (Пенза)  
Б.М. Люпаев, д-р техн. наук, проф. (Саранск)  
И.Г. Овчинников, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саратов)  
В.П. Селяев, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

**Выходит 3 раза в год**

**Учредитель и издатель**

Пензенский государственный  
университет архитектуры  
и строительства

**Главная редакция:**

А.М. Данилов (главный редактор)  
Е.В. Королев (заместитель  
главного редактора)  
И.А. Гарькина (ответственный  
секретарь)

**Адрес редакции:**

440028, г.Пенза, ул.Германа Титова, 28,  
ПГУАС  
Тел/факс 8412 929501  
E-mail: regas@pguas.ru  
fmatem@pguas.ru  
www.rais.pguas.ru

Редакторы: М.А. Сухова,  
В.С. Кулакова,  
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка  
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

Журнал зарегистрирован  
в Федеральной службе по надзору  
за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации  
ПИ №ФС77-25956 от 13 октября 2006 г.

Подписной индекс:  
**36946** в каталоге Роспечати

Авторы опубликованных материалов  
несут ответственность за достоверность  
приведенных сведений, точность данных  
по цитируемой литературе и за исполь-  
зование в статьях данных, не подлежа-  
щих открытой публикации.

Редакция может опубликовать статьи  
в порядке обсуждения, не разделяя точку  
зрения автора.

Подписано к печати 19.06.2014.  
Формат 60x84 1/8.  
Уч.-изд.л. 26,0. Тираж 500 экз. Первый завод 100.  
Заказ № 197.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

# РЕГИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО 2(19)/2014

## Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ИЗДЕЛИЯ ..... 5

**Селяев В.П., Селяев П.В.,  
Алимов М.Ф., Шабазев И.Н.**  
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ  
КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОГО  
ИЗГИБА ..... 5

**Селяев В.П., Неверов В.А.,  
Нищев К.Н., Селяев П.В.**  
МЕТОД МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО  
РАССЕЯНИЯ В ПРАКТИКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ  
НАНОСТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ  
ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НА ОС-  
НОВЕ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ . 16

**Ерофеев В.Т., Мышкин А.В., Каблов Е.Н.,  
Старцев О.В., Смирнов В.Ф., Смирнова О.Н.**  
ВИДОВОЙ СОСТАВ МИКОФЛОРЫ,  
ВЫДЕЛЕННОЙ С ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРАКРИЛАТНОЙ СМОЛЫ  
В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО МОРСКОГО  
КЛИМАТА..... 22

**Вилкова Н.Г., Дорчина О.В.,  
Шумкина А.А., Карев М.Н.**  
АГРЕГАЦИЯ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ  
ЧАСТИЦ КРЕМНЕЗЕМА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ  
НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАЗУЮЩИХСЯ  
ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ..... 30

**Бобрышев А.Н., Зубарев П.А., Лахно А.В.**  
ВЛИЯНИЕ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК  
НА СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНОВЫХ  
КОМПОЗИТОВ..... 35

**Тараканов О.В., Калашников В.И.,  
Белякова Е.А., Стешкина К.А.**  
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАРБОНАТНОГО  
МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ НА КИНЕТИКУ  
НАЧАЛЬНОГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И  
СОСТАВ ГИДРАТНЫХ ФАЗ ЦЕМЕНТНЫХ  
СИСТЕМ..... 40

**Тараканов О.В., Калашников В.И.,  
Белякова Е.А., Москвин Р.Н.**  
САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ НОВОГО  
ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ  
СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ..... 47

© Авторы публикаций, 2014  
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2014  
© ПГУАС, 2014

<b>Логанина В.И., Кислицына С.Н., Садовникова М.А.</b> СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННОЙ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ... 54	<b>Вдовин В.М., Ишмаева Д.Д.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЁСТКИХ УЗЛОВ БАЛОЧНЫХ СТРУКТУР ИЗ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ..... 130
<b>Логанина В.И., Акжигитова Э.Р.</b> ОРГАНОМИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА НА ОСНОВЕ СМЕШАНОСЛОЙНЫХ ГЛИН ПОВОЛЖЬЯ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ..... 58	<b>Кочеткова М.В., Гончаренко О.А.</b> ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В МНОГОРЯДНЫХ СВАЙНЫХ РОСТВЕРКАХ ПОД КОЛОННЫ ..... 137
<b>Максимова И.Н., Макридин Н.И., Суров И.А.</b> ВЛИЯНИЕ НАНОГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ АПРОТОННЫМИ КИСЛОТАМИ, НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДИСПЕРСНО-КРИСТАЛЛИТНОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ..... 64	<b>Кочеткова М.В., Гусев Н.И., Аленкина Е.С.</b> РАБОТА РОСТВЕРКОВ ПОД КОЛОННЫ ПРИ МНОГОРЯДНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ СВАЙ. 144
<b>Фокин Г.А., Гуськов А.С.</b> АКТИВИЗАЦИЯ КИНЕТИКИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО..... 69	ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ..... 152
<b>Гусев Н.И., Кочеткова М.В., Паршина К.С.</b> ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ НАРУЖНОЙ ОТДЕЛКИ ПЕНОБЕТОННЫХ СТЕН..... 74	<b>Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Ласьков Н.Н., Князев В.А.</b> ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДЕСТРУКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ФЕРРАТА НАТРИЯ ..... 152
<b>Береговой А.М., Дерина М.А., Береговой В.А., Мальцев А.В.</b> ОЦЕНКА ТЕПЛОТЫ ПОТЕРЬ ПРИ ЭКСФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ПОРИСТУЮ СТРУКТУРУ МАТЕРИАЛА ОГРАЖДЕНИЯ ..... 79	<b>Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Петрунин А.А.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД 157
<b>Береговой В.А., Сорокин Д.С., Береговой А.М.</b> ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ДЕКОРАТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ОПОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ... 84	<b>Бормотов А.Н., Коновалова И.И., Кузнецов Д.В., Селезнева С.В.</b> ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ..... 163
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ..... 89	АРХИТЕКТУРА..... 169
<b>Травуш В.И., Антошкин В.Д., Ерофеева И.В., Гудожников С.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СБОРНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК . 89	<b>Борисов С.В.</b> О КРИТЕРИЯХ ОЦЕНКИ ОБЪЕМНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ ..... 169
<b>Капустин Д.Е., Рогачев К.В., Капустин А.Е.</b> О ПРИМЕНЕНИИ НЕСЪЕМНОЙ СТАЛЕФИБРОБЕТОННОЙ ОПАЛУБКИ 102	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ..... 178
<b>Мигунов В.Н., Овчинников И.Г.</b> ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН НА ЖЁСТКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ОБЫЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ..... 110	<b>Паночкина Л.В.</b> УПРАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ РИСКАМИ НА ЭТАПЕ БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ БАЛЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ..... 178
<b>Булавенко В.О., Гучкин И.С.</b> КОМБИНИРОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК СО СРЕДНИМ И ВЫСОКИМ ПРОЦЕНТОМ АРМИРОВАНИЯ ..... 117	ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ ..... 183
<b>Вдовин В.М., Ишмаева Д.Д.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ БАЛОЧНЫХ СТРУКТУР ИЗ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ..... 123	<b>Данилов А.М., Гарькина И.А.</b> НАУЧНАЯ СТАТЬЯ С ПОЗИЦИЙ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ..... 183
	<b>Гринцов Д.М., Гринцова О.В., Солманидина Н.В.</b> ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ КВАЛИФИКАЦИЯ ПЕРЕВОДЧИКА В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ..... 188
	<b>Данилов А.М., Гарькина И.А., Гарькин И.Н.</b> ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРОВ: КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД, МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ ..... 192
	<b>Морозов С.Д.</b> ПЕРВАЯ МИРОВАЯ ВОЙНА И ЕЁ ПОСЛЕДСТВИЯ..... 200

# Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	<b>Loganina V.I., Akzhigitova E.R.</b> ORGANIC-MINERAL ADDITIVE ON THE BASIS OF MIXEDCLAYS OF THE VOLGA REGION FOR DRY CONSTRUCTION MIXTURES .....	58
<b>Selyaev V.P., Selyaev P.V., Alimov M.F., Shabayev I.N.</b> INVESTIGATION OF FIBROUS COMPOSITES PROPERTIES BY METHOD OF BUCKLING .....	5	<b>Maksimova I.N., Makridin N.I., Surov I.A.</b> INFLUENCE OF CALCIUM NANOS- HYDROSILICATE, MODIFIED BY APROTIC ACIDS, ON THE STRENGTH OF DISPERSE-CRYSTALED STRUCTURE OF CONCRETE BLOCKS .....	64
<b>Selyaev V.P., Lukin A.N., Kolotushkin A.V.</b> THE METHOD OF SMALL-ANGLE X-RAY SCATTERING IN THE PRACTICE OF RESEARCH IRREGULARITIES IN NANOSTRUCTURED PARTICLES OF DISPERSED POWDERS BASED ON AMORPHOUS SILICA.....	16	<b>Fokin G.A., Guskov A.S.</b> ACTIVATION OF KINETICS OF COMPOSITES STRUCTURE FORMATION BASED ON CEMENT BINDER .....	69
<b>Yerofeev V.T., Myshkin A.V., Kablov E.N., Startcev O.V., Smirnov V. F., Smirnova O.N.</b> MICROFLORA SPECIFIC COMPOSITION, SELECTED FROM POLYMERIC AGGREGATES ON THE BASIS OF POLIESTERACRYLATE PITCH IN THE CONDITIONS OF HUMID SEA CLIMATE	22	<b>Gusev N.I., Kochetkova M.V., Parshina K.S.</b> POLYMER COMPOSITION FOR EXTERNAL FINISHES OF FOAMCONCRETE WALL....	74
<b>Vilkova N.G., Dorchina O.V., Shumkina A.A., Karev M.N.</b> AGGREGATION OF HYDROPHOBIZED SILICA AND ITS INFLUENCE ON THE STABILITY OF THE RESULTING DISPERSED SYSTEMS.....	30	<b>Beregovoy A.M., Derina M.A., Beregovoy V.A., Maltsev A.V.</b> ESTIMATION OF HEAT LOSS AT AIR EXFILTRATION THROUGH POROUS MATERIAL STRUCTURE OF ENCLOSURE CONSTRUCTION .....	79
<b>Bobryshev A.N., Zubarev P. A., Lakhno A.V.</b> INFLUENCE OF AMINO-CONTAINING ADDITIVES ON PROPERTIES OF POLYURETHANE COMPOSITES .....	35	<b>Beregovoi V.A., Sorokin D. S., Beregovoi A.M.</b> EFFECTIVE INSULATION MATERIALS WITH CONTROLLED DECORATIVE PROPERTIES ON THE BASIS OF FLASK ROCKS .....	84
<b>Tarakanov O.V., Kalashnikov V.I., Belyakova E.A., Steshkina K.A.</b> ASSESSING THE IMPACT OF CARBONATE MICROFILLER ON THE KINETICS OF STRUCTURE AND COMPOSITION OF INITIAL PHASES OF HYDRATED CEMENT SYSTEMS.....	40	BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS .....	89
<b>Tarakanov O.V., Kalashnikov V.I., Belyakova E.A., Moskvina R.N.</b> SELF COMPACTING CONCRETE OF NEW GENERATION BASED ON LOCAL RAW MATERIALS.....	47	<b>Travush V.I., Antoshkin V.D., Erofeev I.V., Gudozhnikov S.S.</b> CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF SPHERICAL SHELLS.....	89
<b>Loganina V.I., Kislitsina S.N., Sadovnikova M.A.</b> STRUCTURE AND PROPERTIES OF SYNTHESIZED ALUMINOSILICATE ADDITIVE FOR DRY CONSTRUCTION MIXTURES .....	54	<b>Kapustin D.E., Rogachev K.V., Kapustin A.E.</b> APPLICATION OF PERMANENT FIBER REINFORCED CONCRETE FORMWORK.	102
		<b>Migunov V.N., Ovchinnikov I.G.</b> EFFECT OF CORROSION LONGITUDINAL CRACKS ON THE STIFFNESS AND STRENGTH OF ORDINARY REINFORCED CONCRETE BLOCKS .....	110
		<b>Bulavenko V.O., Guchkin I.S.</b> COMBINED DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AMPLIFICATION WITH MIDDLE AND HIGH PERCENTAGE OF REINFORCEMENT .....	117

<b>Vdovin V.M., Ishmaeva D.D.</b> CONSTRUCTION PARAMETERS OPTIMIZATION OF BEAM STRUCTURES FORMED FROM GLUED LAMINATED ELEMENTS..... 123	ARCHITECTURE ..... 169
<b>Vdovin V.M., Ishmaeva D.D.</b> EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF RIGID CONNECTIONS OF BEAM STRUCTURES MADE FROM GLUED WOODEN ELEMENTS..... 130	<b>Borisov S.V.</b> EVALUATION CRITERIA FOR ORTHODOX CHURCHES SPATIAL COMPOSITION ..... 169
<b>Kochetkova M.V., Goncharenko O.A.</b> DISTRIBUTION OF STRESSES AND STRAINS IN MULTILANE PILE GRILLAGE UNDER COLUMNS ..... 137	ECONOMICS AND MANAGEMENT.. 178
<b>Kochetkova M.V., Gusev N.I., Alenkina E.S.</b> GRILLAGES UNDER COLUMNS FUNCTIONING IN MULTILANE PILE LOCATION ..... 144	<b>Panochkina L.V.</b> RISK MANAGEMENT AT THE BUSINESS PLANNING BY CONSECUTIVE SORTING POINT ..... 178
ENGINEERING SYSTEMS ..... 152	PROFESSIONAL TRAINING IN A TECHNICAL HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT..... 183
<b>Andreev S.Yu., Garkina I.A., Laskov N.N., Knyazev V.A.</b> INTENSIFICATION OF DESTRUCTIVE WASTE WATER PURIFICATION USING AN OXIDANT ON THE BASIS OF FERRATE SODIUM..... 152	<b>Danilov A.M., Garkina I.A.</b> SCIENTIFIC ARTICLES FROM POSITIONS OF SYSTEM ANALYSIS..... 183
<b>Andreev S.Yu., Garkina I.A., Petrunin A.A.</b> IMPROVMENT OF WASTE WATER FLOTATION PURIFICATION ..... 157	<b>Grintsov D.M., Grintsova O.V., Solmanidina N.V.</b> ADDITIONAL QUALIFICATION OF A TRANSLATOR IN TECHNICAL UNIVERSITY ..... 188
<b>Bormotov A.N., Konovalova I.I., Kuznecov D.V., Selezneva S.V.</b> ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION PARAMETERS OF ELECTRIC HEATING AUTOMATIC CONTROL SYSTEM USING THE METHODS OF PARAMETRIC IDENTIFICATION ..... 163	<b>Danilov A.M., Garkina I.A., Garkin I.N.</b> BACHELORS TRAINING: COMPETENCE APPROACH, INTERDISCIPLINARITY..... 192
	<b>Morozov S.D.</b> WORLD WAR I AND ITS CONSEQUENCES....200

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.618.92

*Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева*

Россия, 430006, г. Саранск,  
ул. Большевистская, д. 68  
тел.: (8342) 47-71-56

**Селяев Владимир Павлович**,  
академик РААСН, доктор технических  
наук, профессор, зав. кафедрой  
«Строительные конструкции», президент  
Научно-технического общества строителей  
Республики Мордовия  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Селяев Павел Владимирович**,  
кандидат технических наук, доцент  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Алимов Марат Фатихович**,  
аспирант кафедры строительных  
конструкций

**Шабаяев Ильшат Наильевич**,  
аспирант кафедры строительных  
конструкций

*Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev*

Russia, 430006, Saransk, 68,  
Bolshevistskaya St.,  
tel.: (8342) 47-71-56

**Seljaev Vladimir Pavlovich**,  
Academician of the Russian Academy of  
Architectural and Construction Sciences, Doctor  
of Science, Professor, Head of the department  
«Building designs», President of Scientific and  
Technical Society of the Mordovia Republic  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Seljaev Vladimir Pavlovich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Alimov Marat Fatihovich**,  
Postgraduate of the department «Building  
designs»

**Shabayev Ilshat Nail'evich**,  
Postgraduate of the department «Building  
designs»

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА

В.П. Селяев, П.В. Селяев, М.Ф. Алимов, И.Н. Шабаяев

Экспериментально изучена работа композитной арматуры под нагрузкой, при действии щелочных сред, температуры с применением метода продольного изгиба.

*Ключевые слова: арматура, композит, эпоксидное вяжущее, продольный изгиб, ровинг, щелочь*

## INVESTIGATION OF FIBROUS COMPOSITES PROPERTIES BY METHOD OF BUCKLING

V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, M.F. Alimov, I.N. Shabayev

The work of composite reinforcement under loading with the action of alkaline environments and temperature is experimentally studied using the method of buckling.

*Keywords: reinforcement, composite epoxy binder, buckling, roving, alkali*

Арматура на основе эпоксидного вяжущего и стекло-, базальто-, углеволокон находит все более широкое применение в строительной отрасли Германии, Англии, Канады, Японии, Китая, Нидерландов, США. В России эти разработки только начинают применяться, хотя известно, что в 60-х годах прошлого века ученые СССР были лидерами в области исследования стеклопластиков и известны случаи их использования для усиления железобетонных конструкций [1,2].

В настоящее время в России активно развивается производство композитной арматуры в городах Бийске, Зеленограде, Москве, Саранске, Саратове, Чебоксарах, Якутске.

Разработан и введен в действие с 1 января 2014 года национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ 31938–2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций». Однако до сих пор на страницах строительной газеты (№45, 46, 2013) высказываются противоречивые мнения о целесообразности применения композитной арматуры в строительных конструкциях. Негативное отношение к композитной арматуре в РФ можно объяснить тем, что до сих пор: не определены рациональные области ее применения; нет надежных методов оценки показателей качества; нормативные требования по предельной температуре эксплуатации (60 °С), щелочестойкости (0,75), снижению прочности сцепления с бетоном ограничивают возможность ее применения в качестве рабочей арматуры; нет достаточного объема экспериментальных данных о работе композитной арматуры при совместном действии нагрузки, температуры, щелочной среды.

Поэтому при проведении исследований ставилась задача экспериментально изучить работу композитной арматуры под нагрузкой, при действии щелочных сред, температуры, применяя для этого метод продольного изгиба.

Были испытаны базальто- и стекловолокнистые стержни трех различных производителей.

Базальтоволокнистые композитные стержни диаметром 6, 8, 10, 14 мм были испытаны на осевое растяжение. Рабочая зона стержней составляла  $15d$ , длина участков зажима –  $20d$ . Концы стержней были усилены ровингом. В процессе испытаний записывалась диаграмма деформирования, по которой определяли относительное удлинения ( $\epsilon_c$ ), временное сопротивление ( $R_c$ ), условный предел текучести ( $R_{ct}$ ) и модуль упругости материала ( $E_c$ ). Испытывалось по 40 образцов каждого диаметра. Результаты статистической обработки экспериментальных данных приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты испытаний базальтопластиковой арматуры

Статистические характеристики	Относительное удлинения $\epsilon_c$ , %	Временное сопротивление $R_c$	Удельный предел текучести $R_{ct}$ , МПа	Модуль упругости $E_c$ , МПа
Среднее	3,52	897,76	831,63	27795,48
Медиана	3,49	898,87	845,33	27438,63
Стандартное отклонение	0,19	20,57	38,71	2182,84
Экссесс	-0,82	0,95	6,66	0,08
Асимметрия	0,31	0,10	-2,52	0,67
Коэффициент вариации	5,42	2,29	4,6	7,85

Графики функций распределения деформативно-прочностных показателей, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о статистической однородности полученных данных и о распределении случайных величин  $\epsilon_c$ ,  $R_c$ ,  $R_{ct}$ ,  $E_c$  по нормальному закону. Однако, если модуль упругости и предел прочности базальтовых волокон соответственно равны значениям  $(95-100) \cdot 10^3$  МПа и  $(1,8-2,8) \cdot 10^3$  МПа, то при испытании по стандартной методике полученные значения  $\sigma$  и  $E$  значительно ниже расчетных.

График функции распределения относительного удлинения

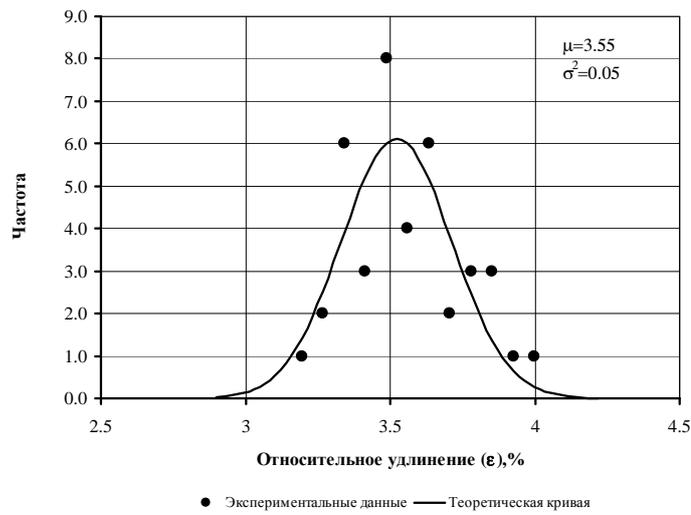


График функции распределения временного сопротивления,  $\sigma_b$

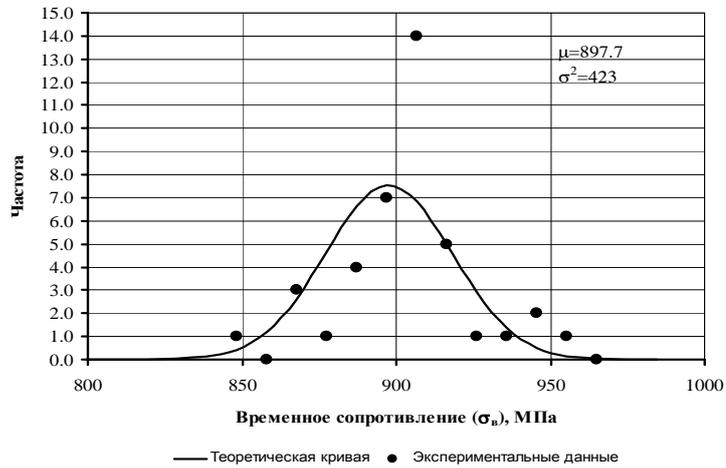


График функции распределения условного предела текучести,  $\sigma_T$

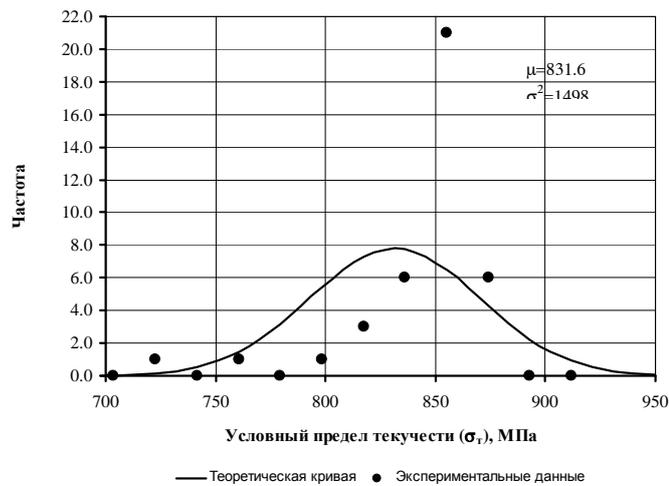


Рис. 1. Графики распределения деформативно-прочностных показателей базальтоволоконистых композитов (начало)



Рис. 1. Графики распределения деформативно-прочностных показателей базальтоволоконистых композитов (окончание)

Более значительное расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями  $\sigma$  и  $E$  наблюдается при испытании на сжатие. Осевой сжимающей нагрузкой были испытаны цилиндрические образцы стекловолоконистых композитов, которые имели размеры  $d=8$  мм,  $h=24$  мм. Испытания проводились при температуре 20, 40, 60 °С. Полученные результаты приведены на рис.2. Если учесть, что прочность волокон из стекла находится в пределах 2000–4900 МПа, то очевидно, что ее потенциальные возможности в полимерном волокнистом композите используются неудовлетворительно. Нелинейную зависимость  $\sigma$  и  $E$  от температуры испытаний можно объяснить тем, что при 40° создаются более благоприятные условия испытаний. Об этом свидетельствует высокая статистическая однородность результатов. Снижение механических характеристик при температуре 60° объясняется развитием пластических деформаций при увеличении температуры.

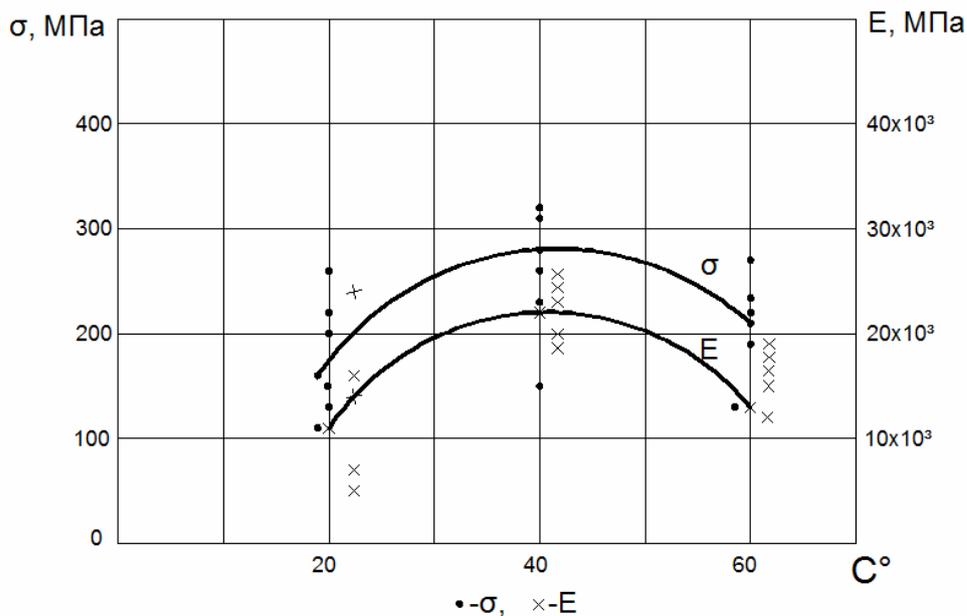


Рис.2. Зависимость прочности и модуля упругости при сжатии стекловолоконистых композитов от температуры

В ряде работ [3–5] отмечается, что традиционные методы испытаний волокнистых композитов не дают объективной оценки прочностного потенциала изделий; несмотря на сложность методов испытаний, не решают проблему локализации места разрушения образцов в расчетной зоне при осевом растяжении, разрушение, как правило, инициируется посторонними, не расчетными сдвигающими воздействиями; не обеспечивают воспроизводимость прочностных и деформативных характеристик материала. Поэтому предложено механические показатели качества волокнистых композитов определять методом продольного изгиба [3–5]. Образец в виде гибкого шарнирно опертого стержня нагружается осевой сжимающей силой до разрушения (рис. 3). В процессе нагружения: фиксируются значения сжимающей силы ( $F$ ) и осевые перемещения торцов стержня ( $\Delta$ ); строится диаграмма деформирования « $F$ – $\Delta$ ». По результатам обработки экспериментальных данных строится диаграмма деформирования « $\sigma$ – $\epsilon$ » и определяются модули упругости ( $E_i$ ), пределы прочности ( $R_i$ ), пределы пропорциональности ( $\sigma_i$ ) при сжатии ( $i=1$ ) и растяжении ( $i=2$ ). Можно определить энергию разрушения ( $U$ ).

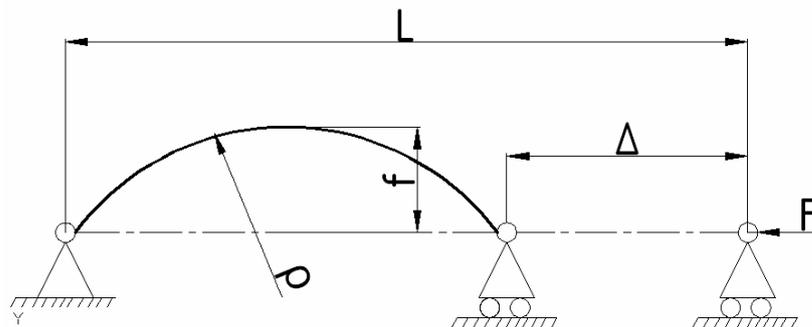


Рис. 3. Схема испытания образцов методом продольного изгиба

Определение механических характеристик  $E_{1,2}$ ,  $R_{1,2}$ ,  $\sigma_{1,2}$ ,  $U$  основано на применении методов сопротивления материалов, согласно которым максимальные (краевые) напряжения в сжато-изогнутом стержне определяются по формуле вида:

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot f}{W}, \quad (1)$$

где  $M$  – момент от сжимающей силы  $F$  при стреле выгиба  $f$ ;  $A$  и  $W$  – соответственно площадь и момент сопротивления поперечного сечения, равные  $A = \pi d^2 / 4$ ;  $W = \pi d^3 / 32$ ;  $d$  – диаметр образца.

Известно, что краевые относительные деформации  $\epsilon$  при заданном радиусе кривизны  $\rho$  можно определить по формуле  $\epsilon = \pm d/2\rho$ .

Тогда из формулы (1) модуль упругости с учетом закона Гука и схемы нагружения (см. рис.3) находим по формуле вида:

$$T = \frac{4F \left( \frac{c^2}{4} + f^2 \right)}{\pi d^3 f} \left[ 1 \pm 8 \frac{f}{d} \right]. \quad (2)$$

В формуле (2) значения  $c$  определяются по экспериментальным данным, так как  $c = L - \Delta$ . Стрелу прогиба  $f$  можно также измерить в процессе эксперимента. В работе [5] предлагается  $f$  и  $\rho$  вычислять по эмпирическим формулам:

$$f = \frac{\sqrt{1(\delta + 0,252\delta^2 + 0,077\delta^3 + 0,079\delta^4)}}{(0,125 - 0,015\delta - 0,008\delta^2)} \cdot \frac{1}{\pi(1 + 0,504\delta + 0,232\delta^2 + 0,315\delta^3)}, \quad (3)$$

$$\rho = \frac{L}{\sqrt{\frac{1(\delta + 0,252\delta^2 + 0,077\delta^3 + 0,079\delta^4)}{2(0,125 - 0,015\delta - 0,008\delta^2)}}}, \quad (4)$$

где  $\delta = \Delta/L$ .

На наш взгляд,  $\rho$  можно определить через  $f$  и  $c$  по формуле, следующей из схемы нагружения (см. рис.3), а  $f$  – по приближенной формуле, и тогда имеем более простые выражения:

$$\rho = \frac{0,25c^2 + f^2}{0,5f}; \quad (5)$$

$$f = \sqrt{\frac{3}{16}(L^2 - c^2)} = \sqrt{\frac{3}{16}\Delta(2L - \Delta)}. \quad (6)$$

Для оценки соответствия значений  $f$ , определенных по формулам (3) и (6), экспериментальным данным были проведены испытания стержней стекловолокнистых композитов сжимающей силой на прессе 13 DP/401, у которого запись параметров  $F$  и  $\Delta$  ведется в автоматическом режиме. Полученные данные приведены в табл. 2 и на рис. 4. В таблице приняты обозначения:  $f_{\text{экс}}$ ,  $f_1$ ,  $f_2$  – значения стрелы прогиба, определенные соответственно экспериментально, по формуле (3) и по формуле (6). Экспериментальные значения получены несколько заниженными, что можно объяснить погрешностью эксперимента. Различие значений  $f_1$  и  $f_2$  незначительное, в пределах 4 %. Следовательно, предел прочности волокнистого композита при сжатии и растяжении можно определить методом продольного изгиба по формуле (1), модуль упругости – (2), стрелу прогиба – (6), радиус кривизны – (5). Этот метод не требует дополнительных устройств, обработки образцов при испытании, имеет хорошую воспроизводимость и объективно оценивает значения механических характеристик композита. Этот метод был применен для изучения влияния растворов едкого натра, температуры на свойства волокнистых композитов.

Т а б л и ц а 2

Значения стрелы прогиба стеклопластиковой арматуры  
 $L=200$  мм,  $d=8$  мм (а),  $d=6.5$  мм (b)

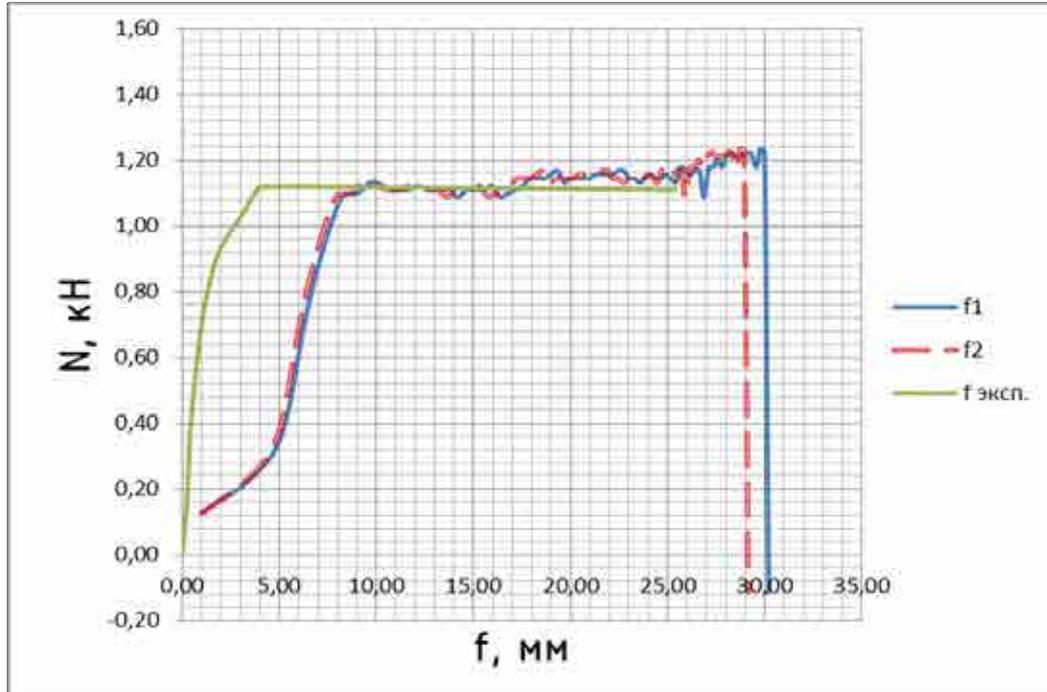
№	$f_{\text{экс}}$ , мм	$f_1$ , мм	$f_2$ , мм
1а	22,97	25,64	24,72
2а	22,68	26,15	25,22
3а	15,70	23,03	22,20
4а	17,37	24,63	23,74
5а	24,15	28,02	27,03
<i>Среднее а</i>	20,57	25,49	24,58
1b	24,50	26,62	25,67
2b	30,38	32,19	31,09
3b	25,40	29,77	28,73
4b	22,93	28,02	27,03
5b	23,67	32,00	30,90
<i>Среднее b</i>	25,38	29,72	28,68

Испытания проводились на образцах диаметром ( $d$ ) 6, 5 и 8 мм, длиной ( $L$ ) 90, 120, 150, 180, 210, 240 мм. Образцы изготавливались из арматуры, произведенной заводом А и заводом Б по 10 шт. для каждого вида испытаний.

При испытании методом продольного изгиба для образцов с заданными параметрами  $L$ ,  $d$  и экспериментальными значениями  $\Delta$  и  $F$  определялись предельные:

$\Delta$  – перемещения;  $F$  – сила;  $f$  – стрела выгиба;  $\rho$  – радиус кривизны;  $\sigma$  – краевые напряжения;  $\epsilon$  – краевые относительные деформации;  $F_s$  – сила Эйлера;  $U$  – работа разрушения. В процессе испытания отмечено, что арматура  $A$  разрушается по сжатой зоне,  $B$  – по растянутой (см. рис.5). Полученные результаты частично представлены в табл. 3, 4, 5.

а



б

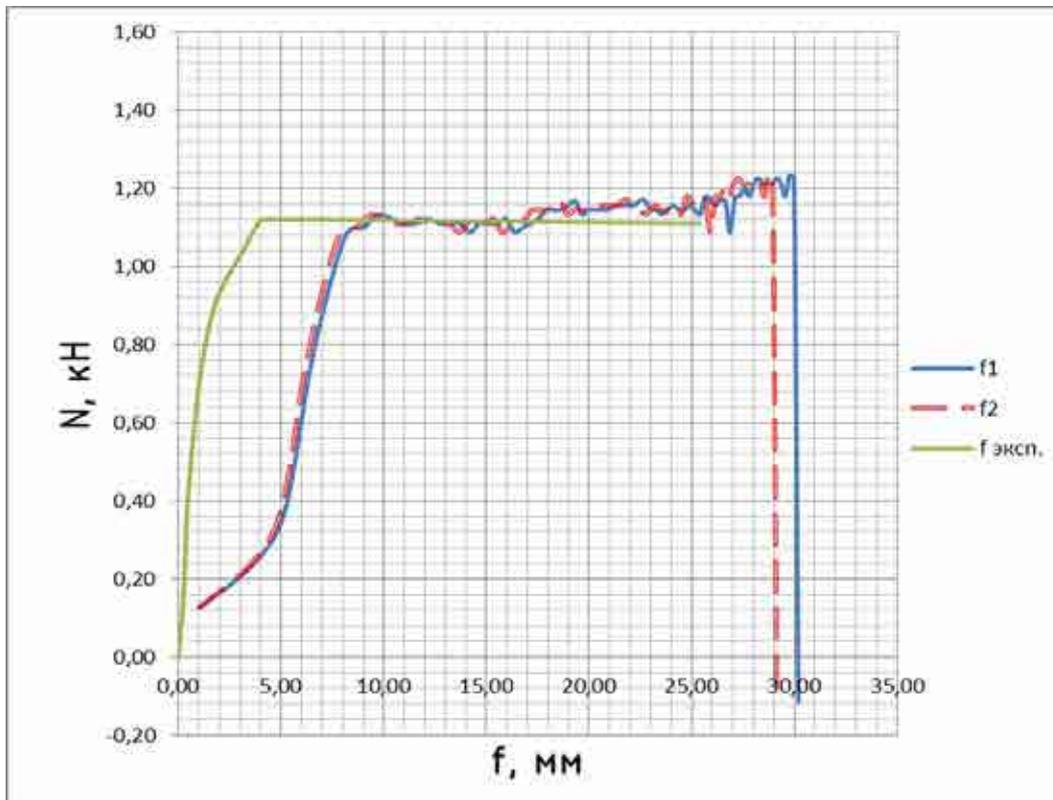


Рис. 4. График изменения стрелы прогиба:  
а –  $l=200$  мм,  $d=8$  мм; б –  $l=200$  мм,  $d=6,5$  мм

Т а б л и ц а 3

Результаты испытаний стеклопластиковой арматуры завода А

№	Ø, мм	L, мм	Δ, мм	t °С исп.	pH NaOH	t °С среды	F, кН	Δ	f, мм	p, мм	σ, МПа	ε	E, МПа	A, мм <sup>2</sup>	W, мм <sup>3</sup>	F <sub>9</sub> кН эксл.	F <sub>9</sub> теор.
1	6,5	90	1,68	20	-	-	5,72	0,019	7,796	104,971	1828,5	0,029	63982	33,166	26,948	6,788	6,79
2	6,5	120	3,34	20	-	-	3,42	0,028	12,586	112,791	1701,4	0,027	63968	33,166	26,948	3,89	3,82
3	6,5	120	3,67	20	12	100	3,24	0,031	13,221	108,310	1686,79	0,028	60899	33,166	26,948	3,67	3,64
4	6,5	150	4,5	20	-	-	2,02	0,030	16,37	130,77	1291,8	0,022	58724	33,166	26,948	2,27	2,24
5	6,5	180	10,5	20	-	-	1,3	0,058	27,134	116,891	1353,37	0,026	52732	33,166	26,948	1,41	1,4
6	6,5	210	17,06	20	-	-	1,05	0,080	37,412	118,036	1493,66	0,025	58768	33,166	26,948	1,12	1,14

Т а б л и ц а 4

Статистическая обработка по модулю упругости арматуры завода А

Ø, мм	L, мм	Среднее, МПа	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Дисперсия выборки	Max	Min	Коэф. вариации, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Нормальные условия</b>								
6,5	90	66561,9	1237,0	2474,1	6121154,4	69161,7	63300,7	3,7
6,5	120	63674,2	1053,9	2107,9	4443488,5	66535,3	61898,7	3,3
6,5	150	62412,7	2042,8	4567,8	20865188,6	67774,9	58326,7	7,3
6,5	180	57054,7	1797,8	4020,1	16161213,8	62414,7	52732,2	7,0
6,5	210	55444,7	1474,7	2949,4	8699093,7	58768,6	51733,3	5,3
8	120	73457,9	2334,6	4669,1	21800752,0	79214,7	68027,4	6,4
8	160	62802,8	1376,4	2752,8	7577680,4	65904,4	59856,7	4,4
8	200	61635,9	1555,3	3110,7	9676155,7	65316,2	58485,5	5,0
8	240	61668,1	1525,2	2641,6	6978359,6	64153,9	58894,3	4,3
<b>pH=12, 100°С, 4 часа</b>								
6,5	90	64322,1	1052,2	1822,8	5322577,3	66290,9	62693,2	2,8
6,5	120	60047,4	921,0	1842,0	3393051,4	61424,2	57340,2	3,1
6,5	150	58632,5	1704,3	3408,6	11618775,3	62174,9	54014,0	5,8

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6,5	180	56443,8	1434,7	3208,1	10292158,0	61409,1	53620,4	5,7
6,5	210	56366,2	2076,8	4643,9	21566411,1	60941,4	50005,6	8,2
8	120	67658,5	1001,3	2239,0	5013289,5	70697,1	65323,7	3,3
8	160	61712,3	1577,0	3526,3	12435100,8	67206,2	57820,3	5,7
8	200	57865,6	1337,3	2674,5	7153084,6	60327,8	55308,5	4,6
8	240	55843,5	1612,3	3224,6	10398444,5	60571,7	53737,3	5,8

Таблица 5

Статистическая обработка по модулю упругости арматуры завода Б

Ø, мм	L, мм	Среднее, МПа	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Дисперсия выборки	Max	Min	Коэф. вариации, %
<b>Нормальные условия</b>								
6	90	22876,2	888,1	1776,2	3154995,1	24376,9	20330,6	7,76
6	120	25392,9	1888,1	3776,3	14260400,5	29459,9	21197,8	14,8
6	180	23730,1	1345,8	2691,6	7244517,4	25907,2	20202,5	11,3
6	210	20125,6	582,2	1301,8	1694791,8	22129,9	18905,1	6,5
8	120	37869,4	647,9	1295,9	1679535,4	39683,7	36629,9	3,4
8	160	37266,9	594,1	1328,5	1764975,6	38745,2	35605,2	3,6
8	200	37254,4	1551,9	2688,1	7225995,4	40187,2	34907,6	7,2
8	240	32735,1	1422,7	2845,4	8096400,2	35860,5	29667,7	8,7
<b>pH=12, 100°C, 4 часа</b>								
6	90	21011,3	630,6	1092,2	1192933,2	22179,7	20015,9	5,2
6	120	23519,4	461,0	922,0	850109,5	24818,4	22647,3	3,9
6	180	19885,1	1442,9	2885,7	8327329,9	22879,0	15972,9	14,5
6	210	18008,9	1644,1	3288,1	10811830,6	21225,6	15119,7	18,3
8	120	33213,1	5306,9	9191,9	84490288,7	39546,3	22670,3	27,7
8	160	31086,2	2477,5	4955,1	24552604,8	36146,4	24630,9	15,9
8	200	30699,8	1055,7	2360,6	5572199,9	33268,0	27445,6	7,7
8	240	26698,4	1228,5	2456,9	6036793,3	29798,1	24020,7	9,2

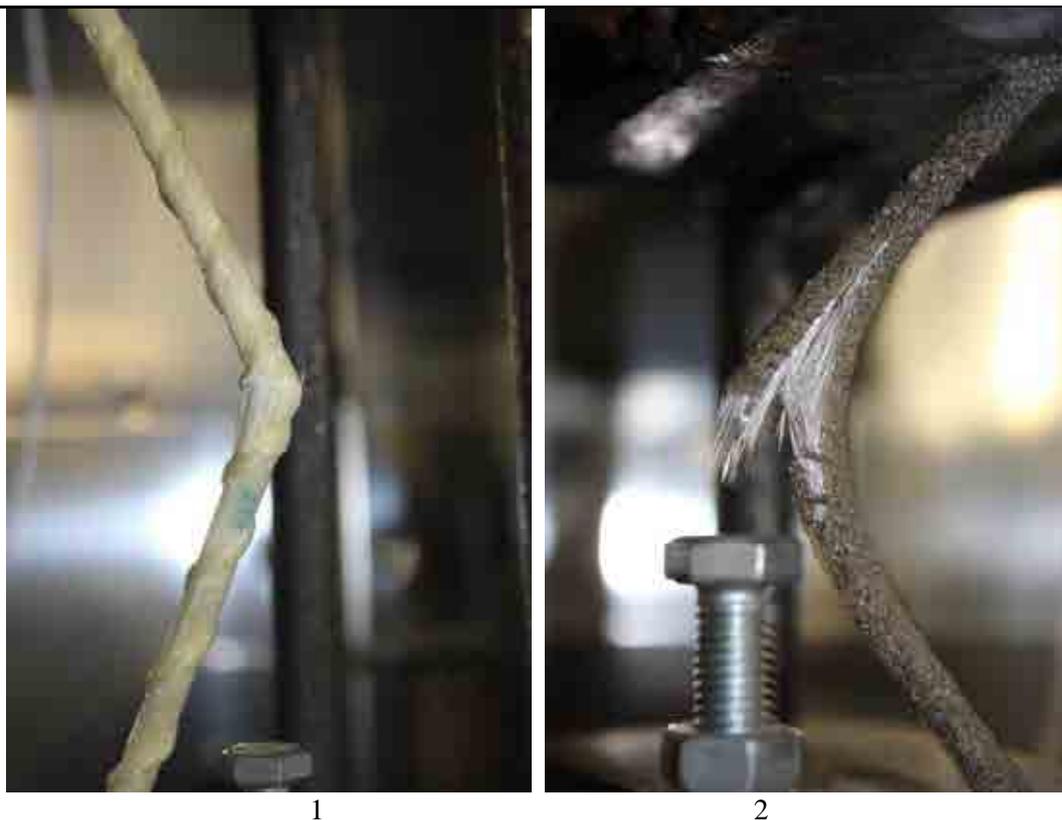


Рис. 5. Характер разрушения арматуры производителей А (1) и Б (2)

В табл. 3 на примере стеклопластиковой арматуры производителя А приведены геометрические характеристики испытанных образцов, условия испытаний, полученные значения разрушающей ( $F$ ), критической ( $F_3$ ) силы, предельные перемещения  $\Delta$  и вычисленные прочностные и геометрические характеристики образцов.

В табл. 4 и 5 показаны в качестве примера результаты статистической обработки экспериментальных данных при определении модуля упругости волокнистых композитов, произведенных на заводах А и Б.

Из анализа экспериментальных данных следует, что при определении модуля упругости методом продольного изгиба получены результаты, которые достаточно точно оценивают модуль упругости композита. Оценка точности была произведена путем определения критической силы по формуле Эйлера:

$$F_3 = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (7)$$

и сравнения полученных значений с экспериментальными значениями (см. табл. 3). Значение  $E$  принималось по экспериментальным данным. Очевидно, что модуль упругости можно также определять из выражения (7) по формуле вида:

$$E = F_3 \cdot l^2 / (\pi^2 I). \quad (8)$$

Экспериментальные данные показывают, что критическая сила достаточно точно определяется в процессе испытаний, что подтверждается графически (рис.6).

Наблюдается зависимость модуля упругости от длины образца и от действия водного раствора едкого натра.

Следует отметить низкие показатели качества арматуры, произведенной производителем Б.

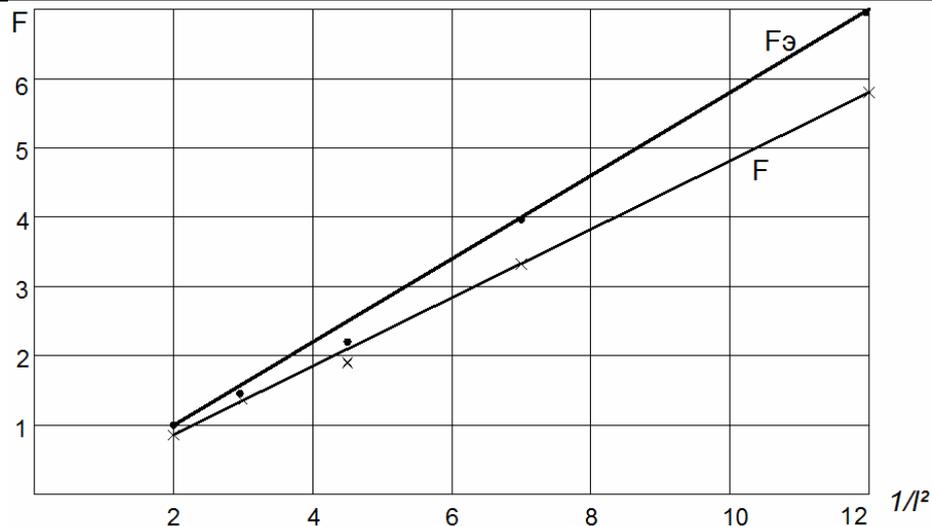


Рис. 6. Изменение сил  $F_3$  в зависимости от длины стержня и агрессивности среды (рН 12)

В ы в о д ы . Метод продольного изгиба можно применять для оценки упругих и прочностных свойств волокнистых композитов.

Прочность и модуль упругости эпоксидных волокнистых композитов зависят от длительности действия водного раствора едкого натра с водородным показателем рН 12.

#### Список литературы

1. Селяев, В.П. Усиление и защита железобетонных ферм от коррозии / В.П. Селяев, Ю.Б. Потапов // Анतिकоррозионная защита строительных конструкций, трубопроводов и оборудования на предприятиях химической промышленности: тез. докл. науч.-техн. конф. (г.Могилев, 15-17 октября 1974). – Минск, 1974. – С.24–26.
2. Селяев, В.П. Исследование влияние эпоксидных покрытий на трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов: автореф. дис... канд.техн.наук / В.П. Селяев. – М., 1973. – 24 с.
3. Луговой, А.Н. Исследование механических характеристик однонаправленно армированного стеклопластика методом продольного изгиба: дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Луговой. – Бийск, 2005.
4. Савин, В.Ф. Испытания упругих стержней методом продольного изгиба / В.Ф. Савин [и др.]. – Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2009.
5. Савин, В.Ф. Метод определения механических характеристик композиционных материалов продольным изгибом / В.Ф. Савин [и др.] // Сборник докладов IX международной научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2012». Сентябрь 7-8. – М., 2012. – Ч. II. – С. 233–243.

#### References

1. Selyaev, V.P. Strengthening and protection of concrete against corrosion farms / V.P. Selyaev, Y.B. Potapov // Corrosion protection of structures, piping and equipment in the chemical industry: abstracts scientific and engineering. conf. (Mogilev, October 15-17 1974). – Minsk, 1974. – P.24–26.
2. Selyaev, V.P. Study of the effect of epoxy coatings to crack concrete flexural members: Author. dis ... Candidate of Science / V.P. Selyaev. – M., 1973. – 24 p.
3. Lugovoi, A.N. Investigation of mechanical properties of unidirectionally reinforced fiberglass by buckling. Ph.D. Dissertation / A.N. Lugovoi. – Bijsk, 2005.
4. Savin, V.F. Tests elastic rods by buckling / V.F. Savin [etc.]. – Barnaul: Univ. Altai State University, 2009.
5. Savin, V.F. Method for determining the mechanical properties of composite materials buckling / V.F. Savin [etc.] // Collection of IX International Scientific Conference on hydroplanes «Gidroaviasalon-2012». – M., 2012. – Part II. – P. 233–243.

Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева

Россия, 430006, г. Саранск,  
ул. Большевистская, д. 68  
тел.: (8342) 47-71-56

**Селяев Владимир Павлович**,  
академик РААСН, доктор технических  
наук, профессор, зав. кафедрой  
«Строительные конструкции», президент  
Научно-технического общества строителей  
Республики Мордовия  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Неверов Вячеслав Александрович**,  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры физики твердого тела  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Нишев Константин Николаевич**,  
кандидат физико-математических наук,  
доцент, зав. кафедрой общей физики

**Селяев Павел Владимирович**,  
кандидат технических наук, доцент  
E-mail: ntorm80@mail.ru

Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev

Russia, 430006, Saransk, 68,  
Bolshevistskaya St.,  
tel.: (8342) 47-71-56

**Seljaev Vladimir Pavlovich**,  
Academician of the Russian Academy of  
Architectural and Construction Sciences, Doctor  
of Science, Professor, Head of the department  
«Building designs», President of Scientific and  
Technical Society of the Mordovia Republic  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Neverov Vyacheslav Alexandrovich**,  
Candidate of Math. Sciences,  
Associate Professor of Solid State Physics  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Nishev Konstantin Nikolaevich**,  
Candidate of Math. Sciences,  
Associate Professor, Head of the department

**Seljaev Vladimir Pavlovich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
E-mail: ntorm80@mail.ru

## МЕТОД МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ В ПРАКТИКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НАНОСТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

В.П. Селяев, В.А. Неверов, К.Н. Нишев, П.В. Селяев

В данной работе приводятся результаты исследований методом малоуглового рентгеновского рассеяния тонкодисперсных нанопористых минеральных порошков на основе диоксида кремния. Полученные данные полезны при построении топологических моделей теплопроводности полидисперсных зернистых систем, выборе подходящего материала для вакуумных изоляционных панелей.

*Ключевые слова: тонкодисперсные минеральные порошки, диоксид кремния, малоугловое рентгеновское рассеяние, пористая структура*

## THE METHOD OF SMALL-ANGLE X-RAY SCATTERING IN THE PRACTICE OF RESEARCH IRREGULARITIES IN NANOSTRUCTURED PARTICLES OF DISPERSED POWDERS BASED ON AMORPHOUS SILICA

V.P. Selyaev, A.N. Lukin, A.V. Kolotushkin

In this work the results of research by the method of small angle x-ray scattering fine nanoporous mineral powders on the base of silicon dioxide are given. The obtained data can be useful for building topological models of heat conduction polydisperse granular systems, in the choice of materials for vacuum insulation panels.

*Keywords: mineral fine powders, silicon dioxide, small angle X-ray scattering, the porous structure*

В последние десятилетия во всем мире резко возрос интерес к разработкам в области исследования наноматериалов и нанодисперсных систем. В их состав входят частицы и агрегаты нанометрового размера  $\sim 1...100$  нм, а в материалах доминирующую роль играют межфазные поверхности, обладающие необычными свойствами. Так, например, в пористых (зернистых) системах перенос тепла осуществляется тремя способами – кондукцией (через контакт частиц материала), конвекцией (движением молекул газа в порах) и излучением. Наличие пористой структуры нанометрового уровня, фрактальных кластеров и фрактальных поверхностей раздела фаз ведет к изменению характера теплопроводности самих частиц – на границе раздела частица – пора происходят рассеяние фононов, преломление (отражение) электромагнитного излучения – и дисперсного материала в целом. Изменяя размеры частиц, их пористость, укладку в теплоизоляционном материале, пористость полидисперсной системы, давление газа в порах, можно получать изделия, например фрагменты ограждающих конструкций зданий, с заданными физическими и эксплуатационными параметрами.

Основой многих минеральных порошков – микрокремнезёмов, диатомитов, цеолитов – являются дисперсные формы аморфного диоксида кремния. При этом частицы  $\text{SiO}_2$  в зависимости от условий и способов получения (или формирования в природной среде) могут иметь значительный разброс линейных размеров, пористости, структурных неоднородностей. В работе [1] показано, что отдельные сферические частицы диоксида кремния крупностью  $\sim 225$  нм и друзы частиц размером  $\sim 20...40$  нм демонстрируют внутреннюю субструктуру, представленную первичными частицами  $5...10$  нм, из которых формируется ядро  $\sim 300...500$  нм [2]. Ядро окружено оболочками из вторичных частиц масштаба  $\sim 20...40$  нм (состоят из первичных частиц), чередующимися со слоями первичных частиц. Если считать, что ядро частиц дисперсного микрокремнезёма сложено из первичных частиц-шаров размерами  $5...10$  нм, при тетраэдрической упаковке частиц образуются пустоты (поры), линейные размеры которых составляют  $0,225d$ , где  $d$  – диаметр шаров, при октаэдрическом способе укладки частиц –  $0,414d$ . Следовательно, ядро частицы аморфного диоксида кремния (а также вторичные частицы) имеет поры, размеры которых лежат в интервале  $1,1...2,3$  нм (тетраэдрическая упаковка) и  $2,1...4,1$  нм (октаэдрическая упаковка).

Согласно оболочечной модели строения частиц диоксида кремния [2], ядро окружено несколькими слоями вторичных частиц с размерами  $20...40$  нм. При тетраэдрической укладке последних будут возникать поры (пустоты) с размерами  $4,5...9,0$  нм, а при октаэдрической –  $8,3...16,7$  нм. Таким образом, частицы дисперсного микрокремнезёма субмикрометровых размеров должны иметь собственную поровую структуру с линейными размерами пор, лежащими в интервале  $1,1...16,7$  нм. В реальности же верхний предел значений диаметров пустот (пор), вероятно, несколько выше за счет дефектов упаковки частиц и отклонения формы первичных и вторичных частиц от сферической. Третичные же частицы диоксида кремния, состоящие из ядра и вторичных частиц (размерами  $\sim 500$  нм), могут иметь поровое пространство до  $100...200$  нм.

Для изучения структурных неоднородностей нанометрового масштаба в дисперсных системах, в том числе и в пористых материалах, широко используется метод малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР). Интерпретация данных МУРР с применением соответствующих моделей дает возможность оценить средний размер рассеивающих фрагментов – пор, кластеров, поверхностей раздела между ними, а также в ряде случаев судить об их распределении по размерам. В данной работе приводятся результаты МУРР тонкодисперсных нанопористых минеральных порошков на основе диоксида кремния. В качестве объектов исследования выступили порошки дисперсных микрокремнезёмов – конденсированный микрокремнезём производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (ТУ 5745-048-02295332-96), белая сажа ОАО «Сода» (ГОСТ 18307-78), порошок наполнителя вакуумной изоляционной панели FRONT-VIP компании VACU ISOTEC KG, а также дисперсный порошок диоксида кремния,

полученный из диатомита Атемарского месторождения путем выделения кремниевой кислоты из коллоидно-растворенного состояния в осадок [5].

Экспериментальный материал в виде индикатрис малоуглового рентгеновского рассеяния получен на дифрактометре Несус S3-MICRO ( $\text{CuK}_\alpha$ -излучение с Ni-фильтром). В качестве координаты рассеяния использовалась величина модуля вектора рассеяния  $s = 4\pi \sin\theta/\lambda$ , где  $2\theta$  – угол рассеяния,  $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$  – длина волны используемого излучения. Интенсивности рассеяния регистрировались в диапазоне значений  $s$  от 0,009 до  $0,400 \text{ \AA}^{-1}$ , что позволяет исследовать неоднородности с линейными размерами  $L \sim \frac{2\pi}{s}$  в пределах 2...70 нм. На рис. 1 в полулогарифмическом масштабе показан фрагмент экспериментальных кривых МУРР – зависимости интенсивности от модуля вектора рассеяния для образцов всех дисперсных минеральных порошков.

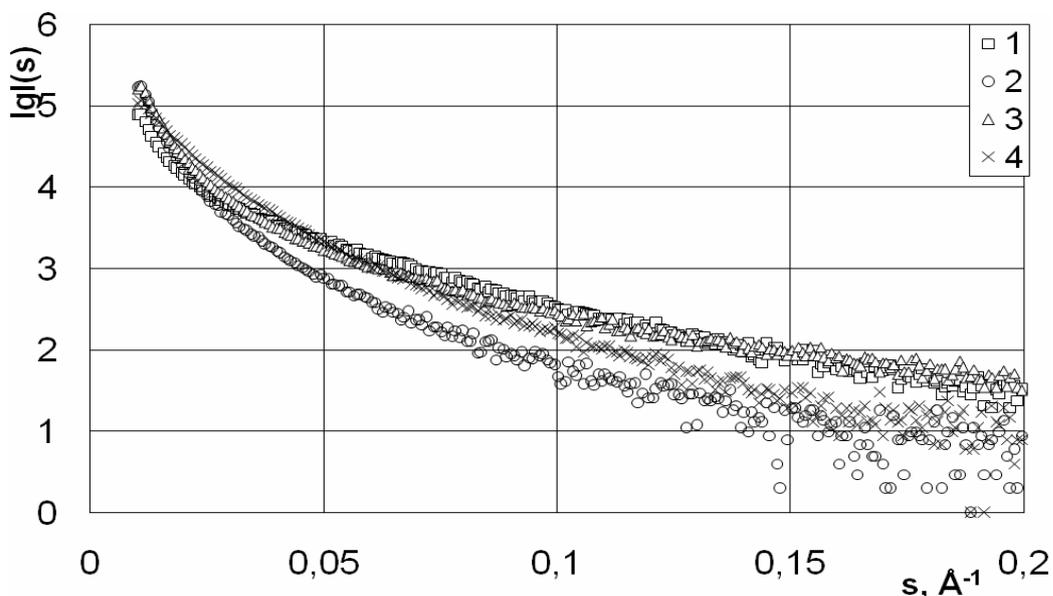


Рис. 1. Экспериментальные кривые МУРР:

- 1 – конденсированный микрокремнезем; 2 – белая сажа; 3 – порошок FRONT-VIP;  
4 – дисперсный диоксид кремния

Из рис.1 видно, что ход кривых  $I(s)$  для исследованных дисперсных систем несколько различается. Тем не менее характер зависимостей  $I(s)$  для всех образцов оказался сходным. Наиболее быстрый спад кривой рассеяния наблюдается у конденсированного кремнезема. Менее выражен спад интенсивности у порошка диоксида кремния и белой сажи. Наиболее плавный ход зависимости  $I(s)$  отмечается у тонкодисперсного порошка наполнителя вакуумной изоляционной панели FRONT-VIP.

На всех представленных кривых можно выделить участок достаточно быстрого спада  $I(s)$  при малых  $s < 0,05 \text{ \AA}^{-1}$  и протяженный участок относительно медленного спада при  $s > 0,05 \text{ \AA}^{-1}$ . Особенностью всех кривых  $I(s)$  является отсутствие интервала значений волнового вектора, в котором выполнялся бы закон Порода  $I(s) \sim s^{-4}$ , определяющий асимптотическое поведение кривой рассеяния от гладкой поверхности частиц. Характер кривых  $I(s)$  свидетельствует о том, что исследованные материалы содержат в своем составе рассеивающие частицы (или поры) разных линейных размеров. Мелкомасштабные неоднородности вносят вклад в рассеяние при больших значениях  $s$ , а крупномасштабные – при малых  $s$ . Следует отметить, что межчастичная интерференция не наблюдается, так как на кривых  $I(s)$  отсутствует какая-либо структура. Высокие значения интенсивности рассеяния обусловлены резким контрастом, вызванным большой разницей между плотностью кремнеземных частиц и порами.

В связи с тем что форма рассеивающих частиц (пор) заранее не известна, для анализа индикатрис МУРР можно воспользоваться методом Гинье [3]. Если считать, что размер рассеивающих неоднородностей характеризуется универсальным параметром – радиусом инерции  $R_g$ , то интенсивность рассеяния можно представить в виде (при малых значениях  $s$ )

$$I(s) = I(0) \exp(-s R_g^2 / 3).$$

Построив кривые  $I(s)$  как функции  $\lg I(s) = f(s^2)$ , должны получить прямолинейный участок, по наклону которого определяется радиус инерции рассеивающих неоднородностей. Анализ экспериментальных зависимостей  $\lg I(s) = f(s^2)$  показал, что ни одна из них не описывается формулой Гинье. Это означает, что дисперсные системы имеют в своем составе неоднородности разных размеров. В таком случае обычно находят приближенную функцию распределения неоднородностей по радиусам инерции, используя идею, предложенную А.И. Китайгородским [4] и детально описанную в работе [6]. Суть идеи Китайгородского заключается в следующем: кривая МУРР в координатах Гинье разбивается на малые интервалы в шкале  $s^2$ , выделяется прямолинейный участок, или проводится касательная к этой части кривой. Угол наклона прямой дает радиус инерции  $R_{gi}$ , а отрезок, отсекаемый прямой на оси  $\lg I(s)$ , – значение  $I_i(0)$ , определяющее вклад таких неоднородностей в интенсивность рассеяния, и позволяет определить их относительное количество. Долю объема неоднородностей можно оценить по формуле

$$V_i \sim I_i(0) / R_{gi}^3.$$

Радиус частицы и ее электронный радиус инерции (для однородной сферы) связаны между собой зависимостью  $3R^2 = 5R_g^2$ ; поэтому линейный размер неоднородностей, участвующих в рассеянии  $d = 2R$ , можно определить по формуле

$$d = 2 R_g(5/3)^{1/2}.$$

На рис. 2 показаны функции распределения рассеивающих нанонеоднородностей по размерам для конденсированного микрокремнезема (кривая 1), белой сажи (кривая 2), порошка FRONT-VIP (кривая 3) и дисперсного диоксида кремния (кривая 4). Анализ полученных кривых показывает, что функция распределения неоднородностей по размерам конденсированного микрокремнезема (кривая 1) имеет максимум при значении  $d_b \sim 22$  нм; белой сажи (кривая 2)  $\sim 2$  нм; порошка FRONT-VIP (кривая 3)  $\sim 20$  нм; дисперсного диоксида кремния (кривая 4)  $\sim 8$  нм.

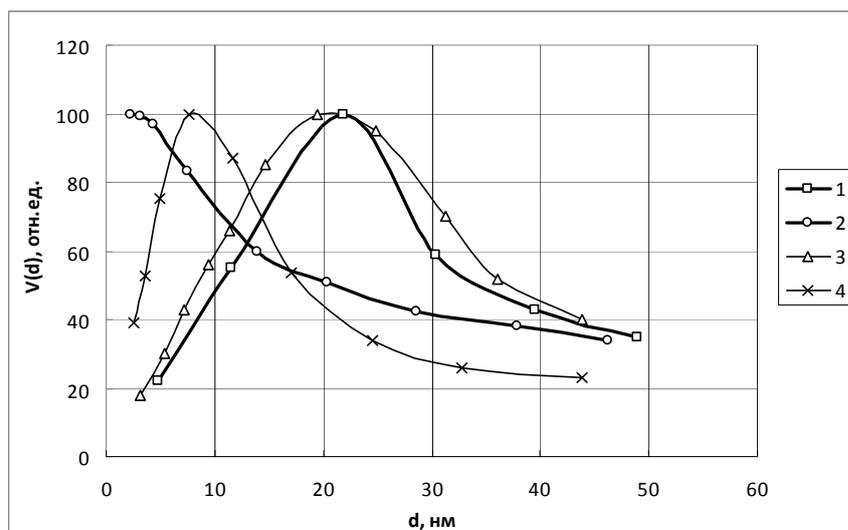


Рис. 2. Функции распределения рассеивающих нанонеоднородностей по размерам: 1 – конденсированный микрокремнезем; 2 – белая сажа; 3 – порошок FRONT-VIP; 4 – дисперсный диоксид кремния

Средние значения размеров рассеивающих объектов были определены по формуле

$$\langle d \rangle = \frac{\sum_i d_i V_i}{\sum_i V_i}.$$

Кроме того, степень однородности размеров рассеивающих образований можно характеризовать величиной дисперсии функции распределения  $\Delta d$ , которая определяется на полувысоте соответствующей кривой распределения. В таблице представлены значения максимумов функции  $V(d) - d_b$ , средней величины размеров рассеивающих неоднородностей  $\langle d \rangle$  и дисперсии функций распределения  $\Delta d$  исследованных минеральных порошков.

Данные, приведенные в таблице и на рис. 2, дают возможность сделать вывод о том, что рассеивающими рентгеновское излучение образованиями в дисперсных минеральных порошках являются поры (частицы), основная доля которых имеет минимальные (для данного порошка) размеры.

Вид порошка	$d_b$ , нм	$\langle d \rangle$ , нм	$\Delta d$ , нм
Конденсированный микрокремнезем	22	26	10–34
Белая сажа	2	13	2–21
FRONT-VIP	20	20	8–37
Дисперсный диоксид кремния	8	12	3–18

Наиболее мелкие наночастицы составляют преимущественную часть рассеивающего объема белой сажи (кривая 2) и дисперсного диоксида кремния, полученного из Атемарского диатомита (кривая 4). Функции распределения пор (частиц) по размерам конденсированного микрокремнезема (кривая 1) и порошка FRONT-VIP (кривая 3) сходны. Характер протяженных «хвостов» функций распределения всех порошков, вероятно, говорит о том, что в них содержится небольшое количество крупных неоднородностей, участвующих в малоугловом рассеянии.

Следовательно, частицы исследованных минеральных порошков имеют развитую систему структурных неоднородностей в виде пор нанометрового масштаба ~2...30 нм, что согласуется с расчетными данными (1...17 нм), полученными для случая плотноупакованных первичных (и вторичных) частиц диоксида кремния при их смешанной упаковке (тетраэдрической и октаэдрической), характерной для оболочечной модели строения указанных частиц [2]. Обнаруженные составляющие порового пространства дисперсных полиструктурных материалов представляют собой мезопоры (открытые и закрытые) – именно в них адсорбируются капиллярно-конденсированные молекулы воды.

Таким образом, данные малоуглового рентгеновского рассеяния для всех дисперсных минеральных порошков свидетельствуют о достаточно высоком разбросе размеров рассеивающих частиц (неоднородностей). При этом максимальную долю объема составляют наиболее мелкие рассеивающие образования, размер которых ~2...26 нм. Согласно данным МУРР, белая сажа, по сравнению с другими микрокремнеземами, содержит существенно более высокую долю рассеивающих частиц размерами ниже 15 нм. Этот вывод можно распространить и на дисперсный диоксид кремния, полученный из Атемарского диатомита. В материале конденсированного микрокремнезема и порошка FRONT-VIP в среднем частицы (поры, кластеры) в два раза крупнее, чем в двух других порошках. Полученные в результате исследований данные могут оказаться полезными при построении топологических моделей теплопроводности полидисперсных зернистых систем, выборе подходящего материала для вакуумных изоляционных панелей.

## Список литературы

1. Карпов, И.А. О внутренней структуре сферических частиц опала / И.А. Карпов [и др.] // Физика твердого тела. – 2005. – Т.47, №2. – С. 334–338.
2. Масалов, В.М. Наноструктура частиц диоксида кремния, полученных многоступенчатым методом Штобера-Финка-Бона / В.М. Масалов, Н.С. Сухинина, Г.А. Емельченко // ХФТП. – 2011. – Т.2, №4. – С.373–338.
3. Свергун, Д.И. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние / Д.И. Свергун, Л.А. Фейгин. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1986. – 280 с.
4. Китайгородский, А.И. Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел / А.И. Китайгородский. – М. – Л.: Гос.изд.тех.-теор.лит., 1952. – 590 с.
5. Селяев, В.П. Возможность создания теплоизоляционных материалов на основе наноструктурированного микрокремнезема из диатомита / В.П. Селяев [и др.]// Наука: 21 век. – 2011. – № 3(15). – С. 76 – 86.
6. Кютт, Р.Н. Исследование структуры нанопористого углерода, полученного из поликристаллических карбидных материалов, методом малоуглового рентгеновского рассеяния / Р.Н. Кютт [и др.] // Физика твердого тела. – 1999. – Т.41, №8. – С. 1484–1488.

## References

1. Karpov, I.A. About the internal structure of spherical particles of opal / I.A. Karpov, [and oth.] // Solid State Physics. – 2005. – V.47, № 2. – P. 334–338.
2. Masalov, V.M. Nanostructure silica particles obtained by multistage Shtobera – Finca Bona / V.M. Masalov, N.S. Suhinina, G.A. Emelchenko // HFTP. – 2011. – Volume 2, № 4. – P.373 – 338.
3. Svergun, D.I. X-ray and neutron small-angle scattering / D.I. Svergun, L.A. Feygin. – M.: Nauka. Gl.red.fiz. – mat.lit., 1986. – 280 p.
4. Kitaygorodsky, A.I. X-ray analysis of fine-grained and amorphous solids / A.I. Kitaygorodsky. – M. – L.: Gos.izd.teh. – teor.lit., 1952. – 590 p.
5. Selaev, V.P. Ability to create heat-insulating materials based on nanostructured silica fume diatomite / V.P. Selaev [etc.]// Science: 21. – 2011. – № 3 (15). – P. 76–86.
6. Kütt, R.N. Investigation of the structure of nanoporous carbon obtained from polycrystalline carbide materials by small angle X-ray scattering / R.N. Kütt [etc.] // Solid State Physics. – 1999. – V.41, № 8. – P.1484–1488.

УДК 621.763:551.3

*Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева*

Россия, 430005, г. Саранск,  
ул. Большевикская, д. 68  
тел.: (8342) 48-25-64

**Ерофеев Владимир Трофимович**,  
доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент РААСН  
E-mail: pgs@mrsu.ru

**Мышкин Антон Владимирович**,  
аспирант кафедры «Строительные  
материалы и технологии»  
E-mail: antonym@pisem.net

*Всероссийский научно-исследовательский  
институт авиационных материалов*

Россия, 105005, Москва, ул. Радио, д.17  
тел.: +7(499)261-86-77, +7(499)267-21-09  
факс: +7(499)267-86-09

**Каблов Евгений Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
академик РАН

**Старцев Олег Владимирович**,  
доктор технических наук, профессор  
*Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского*  
Россия, 603950, г. Нижний Новгород,  
пр. Гагарина, 23  
тел.: 462-30-90, факс: 462-30-85

**Смирнов Василий Филиппович**,  
доктор биологических наук, профессор

**Смирнова Ольга Николаевна**,  
кандидат биологических наук, доцент

*Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev*

Russia, 430005, Saransk, 68,  
Bolshevistskaya St.,  
tel.: (8342) 48-25-64

**Yerofeev Vladimir Trofymovich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Head of the  
department «Building materials and technologies»  
E-mail: pgs@mrsu.ru

**Myshkin Anton Vladimirovich**,  
Postgraduate of the department «Building  
materials and technologies»  
E-mail: antonym@pisem.net

*Research institute of aviation materials*

Russia, 105005, Moscow, 17, Radio St.,  
tel.: +7(499)261-86-77, +7(499)267-21-09  
fax: +7(499)267-86-09

**Kablov Evgeny Nikolaevich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Academician of  
the Russian Academy of Sciences

**Startcev Oleg Vladimirovich**,  
Doctor of Sciences, Professor  
*Nizhny Novgorod state university  
after N.I. Lobachevsky*

Russia, 603950, Nizhny Novgorod,  
23, prospect Gagarina,  
tel.: 462-30-90, fax: 462-30-85

**Smirnov Vasily Filippovich**,  
Doctor of Biological Sciences, Professor

**Smirnova Olga Nikolaevna**,  
Candidate of Biological Sciences, Associate  
Professor

## ВИДОВОЙ СОСТАВ МИКОФЛОРЫ, ВЫДЕЛЕННОЙ С ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРАКРИЛАТНОЙ СМОЛЫ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО МОРСКОГО КЛИМАТА\*

В.Т. Ерофеев, А.В. Мышкин, Е.Н. Каблов, О.В. Старцев,  
В.Ф. Смирнов, О.Н. Смирнова

Представлены результаты исследования по установлению видового состава микро-  
мицетов, заселяющихся на образцах полиэфиракрилатных композиций при выдержи-  
вании их в морской воде и в климатических условиях Черноморского побережья. Экспе-  
риментально показано, что значительное воздействие на видовой состав микроор-  
ганизмов оказывают условия выдерживания образцов и состав отверждающей системы.

*Ключевые слова: полимерная композиция, климатическое воздействие, полиэфиракри-  
латные смолы, микроскопические грибы, биологическая стойкость*

\* Публикуется при поддержке грантов РФФИ №13-08-91171 «Исследования в области создания  
новых полимербетонов, каркасных фибробетонов, бетонов различного фракционного состава с  
биоцидными добавками для организации промышленного производства строительных изделий  
с повышенной долговечностью, биологической и климатической стойкостью на предприятиях  
Республики Мордовия» и РФФМ 13-08-12097 «Исследование механизмов климатического  
старения и биодеструкции полимерных композитов на основе древесины методами  
динамической механической спектроскопии».

## MICOFLORA SPECIFIC COMPOSITION, SELECTED FROM POLYMERIC AGGREGATES ON THE BASIS OF POLIESTERACRYLATE PITCH IN THE CONDITIONS OF HUMID SEA CLIMATE

V.T. Yerofeev, A.V. Myshkin, E.N. Kablov, O.V. Startcev,  
V. F. Smirnov, O.N. Smirnova

Researches on estimation specific composition of micromycetes which are populating the samples of poliesteracrylate compositions in case of their keeping in sea water and in climatic conditions of the Black Sea coast are conducted. Experimentally it is shown that the considerable impact on specific composition of microorganisms is made by conditions of keeping the samples and composition of curing system.

*Keywords: polymeric composition, climatic influence, poliesteracrylate pitches, microscopic mushrooms, biological firmness*

Строительные материалы в воздушной среде на открытых площадках, а также в некоторых зданиях и сооружениях наряду с физическими и химическими воздействиями подвергаются микробиологическим повреждениям [1–5]. Живые организмы могут поселяться на поверхности бетона, если на этой поверхности есть органические вещества или в контакте с поверхностью находится среда (воздух, вода, жидкости), содержащая вещества, служащие пищей для микроорганизмов (органические вещества, сера и ее соединения, углеводороды и т.д.) [4, 6]. Такие условия в большей мере характерны для зданий пищевых производств, животноводческих помещений, предприятий микробиологической промышленности и т.д. [7, 8]. На строительные материалы и изделия микроорганизмы воздействуют не только с внутренней, но и с наружной стороны. Биологическое повреждение зданий с наружной стороны связано, как правило, с нарушением водоотводящих элементов и гидроизоляции, загрязненностью фасадов и повышенным содержанием в воздухе аммиачных, сернистых, углеродистых и других соединений [4, 6, 9, 10].

Микроорганизмы в процессе жизнедеятельности на поверхности или на некоторой глубине в теле материала конструкции (бетона и т.д.) выделяют продукты метаболизма. Как правило, именно продукты метаболизма вызывают повреждение бетонов и других материалов неорганической природы. Материалы же на основе древесины, а также некоторых видов пластмасс, лакокрасочных и других органических строительных материалов наряду с повреждениями от метоболитов могут быть использованы микроорганизмами в цикле жизнедеятельности в качестве источника энергии – пищи.

Предупреждение коррозии, обусловленной биологическим фактором, возможно за счет придания биоцидности материалу конструкции, а также за счет нанесения на его поверхность антикоррозионных защитных покрытий.

Важным элементом в поиске причин возникновения биодеструкции является выявление устойчивости к воздействию микроскопических грибов полимерных композиций, получаемых с применением различных составов отверждающей системы полимерного вяжущего и компонентов полимерминеральной смеси. В настоящее время все более широкое применение в строительстве находят полимерные композиционные материалы на основе различных смол. Они являются более эффективными по сравнению с традиционными материалами (цементными, известковыми, гипсовыми и другими бетонами) при эксплуатации в условиях воздействия агрессивных факторов: физических, химических, биологических [11]. Полимерные материалы применяются как для изготовления конструкционных материалов, так и для нанесения покрытий по строительным конструкциям и технологического оборудования [12]. В первом случае находят применение полимербетоны, стекло- и углепластики, во втором – лакокрасочные материалы. Главная составная часть этих материалов – синтетические связующие, которые после отверждения образуют тонкую сплошную прочную пленку или скрепляют в общий монолит заполнители различного типа (гранулы, волокна, и др.). В качестве синтетических связующих используют эпоксидные, фурановые, полиэфир-

ные и другие смолы. Данные связующие отверждают при нагревании, но наиболее часто под действием различных отвердителей. В состав композиций входят также пластификаторы и наполнители.

Грибостойкость полимерных материалов и их компонентов в лабораторных условиях оценивают по ГОСТ 9.049–91 и ГОСТ 9.050–89. Однако лабораторные исследования не позволяют учесть воздействие климатических факторов на полимерные строительные материалы, т.е. определить степень взаимосвязи интенсивности процессов биоповреждений с климатическим старением. Известно, что действие климатических факторов вызывает изменение состава и структуры полимерных материалов и, как следствие, меняет видовой состав микроорганизмов, участвующих в деструктивных процессах [13].

Целью проведенных исследований явилось изучение изменений видового богатства микофлоры, выделенной с полиэфиракрилатных полимерных композитов в зависимости от их состава и условий испытаний (влажный морской климат, солнечная радиация, морская вода). Рассматривались композиции на основе полиэфиракрилатной смолы марки МГФ-9, отверждаемой системой, состоящей из инициатора твердения пероксид циклогексанона (ПЦОН-2) и ускорителя твердения октоат кобальта (ОК-1). Также были испытаны образцы, наполненные песком фракций 0,16-0,315 мм и 0,315-0,63 мм, состав отверждающей системы в них не изменялся.

Составы с различным содержанием отверждающей системы, полученные по матрице планирования (план Коно), приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Составы, принятые для испытаний

№	Матрица планирования		Рабочая матрица	
	$X_1$	$X_2$	содержание ОК-1, мас. ч. на 100 мас. ч. смолы	содержание ПЦОН-2, мас. ч. на 100 мас. ч. смолы
1	-1	-1	3,2	1,6
2	0	-1	4,4	1,6
3	+1	-1	5,6	1,6
4	-1	0	3,2	2,8
5	0	0	4,4	2,8
6	+1	0	5,6	2,8
7	-1	+1	3,2	4
8	0	+1	4,4	4
9	+1	+1	5,6	4

Образцы 5 кратной повторности выдерживали на Черноморском побережье Краснодарского края на открытой площадке, под навесом, а также в морской воде. По истечении 6 месяцев в лабораторных условиях проводилась идентификация до вида микроорганизмов, контаминирующих вышеуказанные образцы. Идентификацию микроорганизмов проводили на основании их морфолого-культуральных особенностей, используя определители: К.Б. Рейпер, С.А. Том (Raper, Thorn, 1949); К.Б. Рейпер, Д.И. Феннел (Raper, Fennell, 1965); Н.М. Пидопличко (1971); М.А. Литвинов (1967); А.А. Милько (1974); Т.С. Кириленко (1977); К. Донш, В. Гаме (Donch, Gams, 1980); А.Ю. Лугаускас, А.Н. Микульскене, Д.Ю. Шляужене (1987); В.И. Билай, Э.З. Коваль (1988).

Результаты исследований видового состава микроорганизмов, контаминирующих различные рецептуры полимерных композитов, находящихся длительное время в климатических условиях Черноморского побережья, представлены в табл. 2-4.

## Результаты испытаний

Номер состава композитов	Видовой состав микроорганизмов на образцах, выдержанных в течение 3-х месяцев на открытой площадке Черноморского побережья
1	<b>Aspergillus oryzae</b> , <b>Aspergillus candidus</b> , Aspergillus niger, Aspergillus sydowi, Penicillium tardum, Cladosporium elatum, Cladosporium macrocarpum
2	Aspergillus ustus, <b>Aspergillus oryzae</b> , Aspergillus candidus, <b>Aspergillus niger</b> , Aspergillus sydowi, Aspergillus clavatus, Cladosporium elatum, Cladosporium macrocarpum, <b>Gliocladium roseum</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b>
3	<b>Aspergillus oryzae</b> , <b>Aspergillus candidus</b> , <b>Penicillium canescens</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b>
4	<b>Aspergillus oryzae</b> , Aspergillus clavatus, <b>Penicillium canescens</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , Gliocladium roseum, Cladosporium macrocarpum
5	Aspergillus ustus, Aspergillus terreus, <b>Gliocladium roseum</b> Cladosporium macrocarpum
6	<b>Aspergillus oryzae</b> , <b>Aspergillus candidus</b> , <b>Aspergillus niger</b> , Aspergillus ustus, Aspergillus clavatus, Penicillium urticae, Cladosporium macrocarpum, <b>Gliocladium catenulatum</b> , Gliocladium roseum,
7	<b>Aspergillus candidus</b> , <b>Aspergillus niger</b> , <b>Aspergillus oryzae</b> , Penicillium tardum, Cladosporium elatum, Cladosporium macrocarpum, <b>Gliocladium catenulatum</b> , <b>Gliocladium roseum</b>
8	<b>Aspergillus oryzae</b> , Penicillium urticae, <b>Gliocladium catenulatum</b> , Cladosporium macrocarpum, Chaetomium dolichotrichum
9	<b>Aspergillus oryzae</b> , Penicillium urticae, <b>Gliocladium catenulatum</b> , Cladosporium macrocarpum, Chaetomium dolichotrichum

Т а б л и ц а 3

## Результаты испытаний

Номер состава композитов	Видовой состав микроорганизмов на образцах, выдержанных в течение 3 месяцев под навесом на Черноморском побережье
1	<b>Aspergillus oryzae</b> , Alternaria brassicae, <b>Chaetomium dolichotrichum</b> , Cladosporium elatum
2	Aspergillus terreus, Aspergillus clavatus, <b>Aspergillus oryzae</b> , Cladosporium elatum, <b>Gliocladium roseum</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b>
3	<b>Aspergillus oryzae</b> , Aspergillus ustus, Penicillium claviforme, Botryosporium longibrachiatum
4	<b>Aspergillus niger</b> , Aspergillus clavatus, <b>Aspergillus ustus</b> , Alternaria brassicae, <b>Gliocladium catenulatum</b> , Cladosporium macrocarpum
5	<b>Gliocladium catenulatum</b> , Cladosporium macrocarpum
6	<b>Aspergillus ustus</b> , Aspergillus candidus, , <b>Gliocladium catenulatum</b> , Gliocladium roseum
7	Aspergillus sydowi, Aspergillus oryzae, <b>Fusarium sambucinum</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <b>Gliocladium roseum</b>
8	<b>Aspergillus niger</b> , <b>Fusarium sambucinum</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <b>Gliocladium roseum</b>
9	<b>Aspergillus niger</b> , <b>Fusarium sambucinum</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <b>Gliocladium roseum</b>

## Результаты испытаний

Номер состава композитов	Видовой состав микроорганизмов на образцах, выдержанных 3 месяца в морской воде
1	<b>Aspergillus oryzae</b> , <i>Alternaria brassicae</i> , <b>Chaetomium dolichotrichum</b> , <i>Cladosporium elatum</i>
2	<i>Aspergillus terreus</i> , <i>Aspergillus clavatus</i> , <b>Aspergillus oryzae</b> , <i>Cladosporium elatum</i> , <b>Gliocladium roseum</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b>
3	<b>Aspergillus oryzae</b> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Penicillium claviforme</i> , <i>Botryosporium longibrachiatum</i>
4	<b>Aspergillus niger</b> , <i>Aspergillus clavatus</i> , <b>Aspergillus ustus</b> , <i>Alternaria brassicae</i> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <i>Cladosporium macrocarpum</i>
5	<b>Gliocladium catenulatum</b> , <i>Cladosporium macrocarpum</i>
6	<b>Aspergillus ustus</b> , <i>Aspergillus candidus</i> , , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <i>Gliocladium roseum</i>
7	<i>Aspergillus sydowi</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <b>Fusarium sambucinum</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <b>Gliocladium roseum</b>
8	<b>Aspergillus niger</b> , <b>Fusarium sambucinum</b> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <b>Gliocladium roseum</b>
9	<b>Aspergillus oryzae</b> , <i>Penicillium urticae</i> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <i>Cladosporium macrocarpum</i> , <i>Chaetomium dolichotrichum</i>

В табл. 2 приведен состав микофлоры, выделенной с образцов, выдержанных на открытой площадке у Черного моря. В этом случае на полимерные образцы разрушающее воздействие оказывает солнечная радиация, солевой туман и повышенная влажность. В результате испытаний с образцов полимерных композитов было выделено 17 видов микромицетов, относящихся к классу гифомицетов (сем. Moniliaceae (р.р. *Aspergillus* – 7; *Penicillium* – 3, *Gliocladium* – 2);, Dematiaceae (р.р. *Cladosporium* – 2 вида) и 1 вида к классу аскомицеты (р. *Chaetomium*). Результаты исследований показали преобладание среди контаминантов данной композиции грибов р. *Aspergillus*, р. *Penicillium* и р. *Gliocladium*.

В табл. 3 и 4 приведен состав микофлоры, выделенной с образцов, находящихся под навесом на побережье и после старения в морской воде соответственно. Видно, что состав микофлоры, выделенной с образцов, подвергающихся данным климатическим воздействиям, полностью совпадает. Это можно объяснить схожестью условий высокой влажности. Грибы сохраняют жизнедеятельность как при отсутствии воздуха, так и в воздушной среде, в обоих случаях почти отсутствует воздействие солнечной радиации. С образцов полимерных композитов был выделен 21 вид гифомицетов, относящихся к сем. Moniliaceae (р.р. *Aspergillus* – 7; *Penicillium* – 1, *Gliocladium* – 2), Dematiaceae (р.р. *Cladosporium* – 2 вида; *Alternaria* – 1), Tuberculariaceae (р. *Fusarium* – 1 вид) и 1 вида аскомицетов (р. *Chaetomium*). Результаты исследований показали преобладание среди контаминантов данной композиции грибов р. *Aspergillus* и р. *Gliocladium*. Это, по-видимому, связано с тем, что микромицеты р. *Aspergillus*, имея мощный метаболический аппарат, могут активно разрушать широкий круг полимерных материалов различного химического состава, в т. ч. и углеродные материалы.

На поверхности образцов исчезли такие виды грибов, как *Penicilium tardum* и *Penicilium canescens*. По сравнению с образцами, выдержанными на открытой площадке, появились новые виды *Alternaria brassicae*, *Chaetomium dolichotrichum*, *Botryosporium longibrachiatum*, *Fusarium sambucinum*. Сохранилась тенденция к меньшему количеству видов микроорганизмов на составе №5.

Анализируя распределение видового состава микофлоры по составам полиэфиракрилатных композитов, отметим, что наименьшее разнообразие микофлоры выделено с образцов состава №5. При этом на нем полностью отсутствует распро-

страненный р. *Aspergillus*. Это можно объяснить тем, что при данном соотношении компонентов происходит полная реакция и не остается компонентов первоначальной отверждающей системы в чистом виде, компонентами которых питается р. *Aspergillus*. Это подтверждается исследованиями прочностных показателей данных составов [13]. Состав №5 показал максимальную прочность на сжатие. Таким образом, перемещение образцов полиэфиракрилатных композиций из морской воды под навес не оказывает влияния на видовое богатство микрофлоры, выделенной с образцов с различным содержанием отверждающей системы.

Иная картина видового состава микромицетов наблюдается на вышеуказанных композитах, помещенных на открытую площадку (табл.2). Отмечено появление р.р. *Penicilium tardum* и *Penicilium canescens*.

В целом можно выделить состав с наименьшим заселением микофлорой после климатических испытаний. Это состав №5.

Незаполненные составы полимерных материалов используются в качестве основы для создания лакокрасочных материалов, а заполненные – при получении антикоррозионных утолщенных покрытий. Последние изготавливаются с применением различных наполнителей, что снижает расход полимерного связующего и повышает износостойкость композиционного материала.

Результаты испытаний заполненных кварцевым порошком образцов приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

## Результаты испытаний

№ состава	Условия испытаний	Видовой состав микофлоры
Наполненные песком фракции 0,16-0,315	На открытой площадке	<b>Aspergillus oryzae</b> , <i>Penicillium urticae</i> , <b>Gliocladium roseum</b> , <i>Cladosporium macrocarpum</i> ,
	Под навесом	<b>Aspergillus oryzae</b> , <i>Penicillium urticae</i> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <i>Cladosporium elatum</i> , <i>Fusarium solani</i>
	В морской воде	<b>Aspergillus oryzae</b> , <i>Penicillium urticae</i> , <b>Gliocladium catenulatum</b> , <i>Cladosporium elatum</i> , <i>Fusarium solani</i>
Наполненные песком фракции 0,316-0,63	На открытой площадке	<b>Aspergillus oryzae</b> , <b>Aspergillus candidus</b> , <i>Aspergillus sydowi</i> , <b>Aspergillus niger</b> , <i>Penicillium canescens</i> , <b>Gliocladium catenulatum</b>
	Под навесом	<b>Aspergillus ustus</b> , <b>Chaetomium dolichotrichum</b> , <i>Penicillium canescens</i> , <b>Gliocladium catenulatum</b>
	В морской воде	<b>Aspergillus ustus</b> , <b>Chaetomium dolichotrichum</b> , <i>Penicillium canescens</i> , <b>Gliocladium catenulatum</b>

По результатам испытаний композитов, заполненных кварцевым порошком, можно сделать вывод о том, что в заполненных композитах количество видов микроорганизмов, выделенных с поверхности испытуемых образцов, при увеличении крупности наполнителя (замене песка фракции 0,16-0,315 мм на фракцию 0,315-0,63 мм) увеличивается. Эта закономерность наблюдается как при испытаниях в морской воде, так и под открытым небом и под навесом вблизи Черного моря.

Выводы:

1. Установлен видовой состав микроорганизмов, заселяющихся на полиэфиракрилатных композициях при выдерживании образцов во влажных условиях Черноморского побережья под открытым небом, под навесом, а также после старения в морской воде.

2. Установлено, что поверхность образцов, которые при выдерживании под открытым небом испытывают воздействие солнечной радиации, заселена большим количеством видов микофлоры, чем образцы, выдержанные под навесом и в морской воде.

3. Выявлено, что образцы, выдержанные на побережье под навесом имеют на поверхности то же видовое разнообразие грибов, что и образцы, выдержанные в морской воде.

4. Выявлено изменение видового состава микроорганизмов в полиэфиракрилатных композитах при изменении количественного содержания отверждающей системы и количественного содержания наполнителя.

### Список литературы

1. Богатова, С.Н. Исследование биологической стойкости эпоксидных покрытий / С.Н. Богатова [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2011. – №3. – С.42–45.

2. Бажанова, М.Е. Исследование стойкости полимерных и металлополимерных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов / М.Е. Бажанова, В.Т. Ерофеев, А.Н. Бобрышев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – №1-2. – С.415–421.

3. Ерофеев, В.Т. Фурфурацетонные композиты каркасной структуры: моногр. / В.Т. Ерофеев, Д.А. Твердохлебов, К.В. Тармосин [и др.]; под общ. ред. чл.-корр. РААСН В.Т. Ерофеева. – Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 220 с.

4. Соломатов, В.И. Биологическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 196 с.

5. Каблов, Е.Н. Коррозия или жизнь / Е.Н. Каблов // Наука и жизнь. – 2012. – №11. – С. 16–21.

6. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах: совм. Изд. СССР-ЧССР-ФРГ / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Мадры, П. Шлисель. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.

7. Ерофеев, В.Т. Микробиологическое разрушение материалов: учеб. пособие / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: АСВ, 2008. – 128 с.

8. Комохов, П.Г. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина / под ред. П.Г. Комохова, В.Т. Ерофеева, Г.Е. Афиногенова. – СПб.: Наука, 2009. – 192 с.

9. Комохов, П.Г. Биоразрушение конструкционных материалов и научные основы их защиты / П.Г. Комохов, А.П. Комохов // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – С. 12–14.

10. Старцев, С.А. Методы ликвидации последствий биоповреждения строительных конструкций / С.А. Старцев // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – С. 15–20.

11. Гусев, Б.В. Формирование структуры композиционных материалов и их свойства / Б.В. Гусев, В.И. Кондращенко, Б.П. Маслов, А.С. Файсвусович. – М.: Научный мир, 2006. – 560 с.

12. Ерофеев, В.Т. Каркасные строительные композиты: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / В.Т. Ерофеев; Моск. гос. ун-т. путей сообщения. – М., 1993. – 51 с.

13. Ерофеев, В.Т. Видовой состав микофлоры, выделенной с полимерных композитов на основе полимерных смол в условиях влажного морского климата / В.Т. Ерофеев [и др.] // Известия Казанского ГАСУ. – №2 (24). – 2013. – С.233–237.

## References

1. Bogatova, S.N. Research of biological firmness of epoxy coverings / S.N. Bogatova [etc.] // Paintwork materials and their application. – 2011. – №3. – P.42–45.
2. Bazhanova, M.E. Research of firmness of polymeric and metalpolymeric materials in the conditions of influence soil microorganisms / M.E. Bazhanova, V.T. Yerofeev, A.N. Bobryshev // News of Southwest state university. – 2011. – №1-2. – P. 415–421.
3. Yerofeev, V.T. Furfurolacetic composites frame structure: monograph / V.T. Yerofeev [etc.]; under a general edition of the member correspondent RAASN V. T. Yerofeev. – Saransk: publishing house Mordov. un-ty, 2008. – 220 p.
4. Solomatov, V.I. Biological resistance of materials / V.I. Solomatov, V.T. Yerofeev, V.F. Smirnov [etc.]. – Saransk: Publishing house Mordov. Un-ty, 2001. – 196 p.
5. Kablov, E.N. Corrosion or life / E.N. Kablov // Science and life. – 2012. – № 11. – P. 16–21.
6. Alekseev, S.N. Durability of reinforced concrete in hostile environment: in common prod. USSR-ChSSR-FRG / S.N. Alekseev, F.M. Ivanov, S. Madra, P. Shlisel. – M.: Buildpublish, 1990. – 320 p.
7. Yerofeev, V.T. Microbiological destruction of materials: studies. grant / V.T. Yerofeev [etc.]. – M.: ASV, 2008. – 128 p.
8. Komokhov, P.G. Protection of buildings and constructions against biodamages by biocidal preparations on a basis guanidin / under the editorship of P.G. Komokhov, V.T. Yerofeev, G.E. Afinogenov. – SPb.: Science, 2009. – 192 p.
9. Komokhov, P.G. Biodestruction of construction materials and scientific bases of their protection / P.G. Komokhov, A.P. Komokhov // Biodamages and biocorrosion in construction: materials of international. sc.-tech. conf. – Saransk: Publishing house Mordov. Un-ty, 2004. – P. 12–14.
10. Startsev, S.A. Methods of elimination of consequences of biodamage building of designs / S.A. Startsev // Biodamages and biocorrosion in construction: materials of international. sc.-tech. conf. – Saransk: Publishing house Mordov. un-ty, 2004. – P. 15–20.
11. Gusev, B.V. Formation of structure of composite materials and their property / B.V. Gusev, V.I. Kondrashchenko, B.P. Maslov, A.S. Faysvusovich. – M.: Scientific world, 2006. – 560 p.
12. Yerofeev, V.T. Frame construction composites: the thesis abstract on competition of a scientific degree of Doctor of Engineering/century T. Yerofeev; Mosc. the state. un-ty of means of communication. – M., 1993. – 51 p.
13. Yerofeev, V.T. Specific structure of the microflora allocated from polymeric composites on the basis of polymeric pitches in the conditions of humid sea Climate / V. T. Yerofeev [etc.] // News of Kazan GASU. – 2013. – № 2 (24). – P. 233–237.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Вилкова Наталья Георгиевна,**  
доктор химических наук, профессор  
E-mail: ngvilkova@mail.ru

**Дорчина Ольга Васильевна,**  
аспирант кафедры физики и химии  
E-mail: postmaster @ pgasa.penza.com.ru

**Шумкина Анна Александровна,**  
доцент кафедры «Физика и химия»  
E-mail: postmaster @ pgasa.penza.com.ru

**Карев Максим Николаевич,**  
студент  
E-mail: rom\_maks1994@mail.ru

Penza State University of Architecture  
and Construction  
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Vilkova Natalya Georgievna,**  
Doctor of chemistry, Professor  
E-mail: ngvilkova@mail.ru

**Dorchina Olga Vasilyevna,**  
Assistant of professor  
E-mail: postmaster @ pgasa.penza.com.ru

**Shumkina Anna Aleksandrovna,**  
Associate Professor of the department  
«Physics and chemistry»  
E-mail: postmaster @ pgasa.penza.com.ru

**Karev Maksim Nikolaevich,**  
Student  
E-mail: rom\_maks1994@mail.ru

## АГРЕГАЦИЯ ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ КРЕМНЕЗЕМА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОБРАЗУЮЩИХСЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Н.Г. Вилкова, О.В. Дорчина, А.А. Шумкина, М.Н. Карев

Рассмотрена агрегация кремнезема (людокс и аэросил) при изменении степени гидрофобизации твердой поверхности и концентрации электролита в исходных суспензиях. Показано, что в суспензиях, содержащих людокс, при постоянной степени гидрофобизации твердой поверхности ( $n_g = 0,55$  моль/г) и различной концентрации хлорида натрия образуются частицы радиусом не более 5 мкм. Доля таких частиц в исходных суспензиях составляет 50–70 % при повышении концентрации хлорида натрия от 0,01 до 0,7. Эти частицы приводят к формированию «бислойных» пленок. Агрегации аэросила при степени гидрофобизации поверхности 2,5 ммоль/г соответствуют радиусы частиц 65–70 мкм, пленки толщиной более 100 мкм и высокоустойчивые пены.

*Ключевые слова:* агрегация частиц, дисперсные системы, устойчивость, пенные пленки

## AGGREGATION OF HYDROPHOBIZED SILICA AND ITS INFLUENCE ON THE STABILITY OF THE RESULTING DISPERSED SYSTEMS

N.G. Vilkova, O.V. Dorchina, A.A. Shumkina, M.N. Karev

The authors have studied the aggregation of silica (Aerosil-380 and Ludox HS-40) with varying degree of hydrophobic solid surface and electrolyte concentration in initial suspension. It is shown that in the suspensions that contain ludox at constant degree of solid surface hydrophobization ( $n_g = 0,55$  mol/g) and varying concentrations of sodium chloride particles are formed with radius less than 5 microns. The fraction of such particles in the initial suspension is from 50 % to 70 % with increasing concentrations of sodium chloride from 0,01 to 0,7 mol/l. These particles result in the formation of the «bilayer» films. Aggregation of aerosil particles correspond to radii of 65–70 microns, film thickness of 100 microns and more resistant foam.

*Keywords:* aggregation of particles, disperserd system, stability, foam films

Изучению пен и пенных пленок, стабилизированных твердыми частицами, посвящены работы [1–6]. Установлено, что устойчивость пенного слоя, течение дисперсионной среды через пену, а также характер утоньшения и толщина пенных пленок во многом зависят от степени дисперсности частиц-стабилизаторов в исходной

суспензии и их природы. В частности, исследовались пленки, стабилизированные диспергированным латексом и полимерными частицами SU-8 [7, 8].

Важно отметить, что устойчивость пенных пленок, а следовательно, и устойчивость пены, определяется соотношением ПАВ и твердой фазы в исходной суспензии, а также степенью заполнения частицами границы раздела «вода – газ» или их взаимодействием в объемной фазе. Избыток молекул ПАВ ( $C_{\text{пав}}$ ) в поверхностном слое по сравнению с количеством гидрофобизованных частиц не обеспечивает устойчивости пленок. В то же время молекулы ПАВ при некоторой оптимальной концентрации могут способствовать флокуляции частиц на межфазной поверхности и обеспечивать устойчивость пленки к разрыву.

Проведенные исследования [3] показали, что при постепенном повышении степени гидрофобизации твердых частиц людокса от 0,55 до 2,2 ммоль/г в присутствии неизменной концентрации хлорида натрия (5 ммоль/л) пленки имеют бислойную структуру, то есть образованы предположительно двумя слоями адсорбированных твердых частиц. Пленки, полученные из аэросила с массовым содержанием твердой фазы 4 и 6 %, имели толщину 155 и 199 мкм. Их повышенная устойчивость объясняется возможным процессом гелеобразования в дисперсионной среде. Таким образом, структура пленок и их толщина определяются размерами гидрофобизованных частиц, их адсорбцией и расположением на границе раздела фаз. Образование частицами агрегатов различных радиусов в исходной суспензии вследствие изменения концентрации как гидрофобизатора, так и электролита может объяснить различия в строении пенных пленок.

Проводились исследования влияния агрегирования частиц в исходной суспензии на свойства образующихся пенных пленок и пен.

В качестве твердых стабилизаторов использовались частицы кремнезема, гидрофобизированного добавками поверхностно-активного вещества – гексилamina. Этот детергент не является пенообразователем. Даже большие концентрации указанного ПАВ не приводят к образованию пены: высота пенного слоя не превышает 0,5 см, а время жизни составляет не более одной минуты. Однако гексилamin способствует увеличению степени гидрофобности твердых частиц  $n_g$  (ммоль/г), которую рассчитывали по формуле

$$n_g = C_s / C_{\text{SiO}_2},$$

где  $C_s$  – концентрация ПАВ, ммоль/л,  $C_{\text{SiO}_2}$  – содержание кремнезема в водной фазе, г/л.

Для стабилизации пен и пенных пленок использовался кремнезём двух видов: а) Аэросил-380 – порошок с диаметром частиц 12 нм; б) 40 % (в пересчете на  $\text{SiO}_2$ ) золь марки LudoxHS-40 с диаметром частиц 15 нм.

*Определение краевых углов.* Краевой угол определяли с помощью пузырька газа, который формируется у поверхности гидрофобизованной пластинки [9]. Увеличенное микроскопом изображение с помощью веб-камеры переносится на компьютер (см. рисунок). Значение краевого угла ( $\theta$ ) находили графически, а также с помощью специально разработанной программы.



Фотография прижатого к гидрофобизованной пластинке пузырька газа

Состав исходной суспензии: 20 % LudoxHS-40 + 44 ммоль/л гексилamina.

*Определение толщины пленок, стабилизированных твердыми частицами.* Толщину модельных пленок, сформированных на границе раздела вода – газ можно опреде-

лить, измеряя электропроводность пленки с помощью кондуктометра при определенном содержании электролита в водной фазе (например, 0.1 н NaCl с удельной электропроводностью  $\kappa_{уд}^{25^\circ} = 117 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  или 0.1 н KCl с удельной электропроводностью  $\kappa_{уд}^{25^\circ} = 128,8 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ). Схемы измерительных ячеек представлены в монографии [9].

*Седиментационный метод.* По скорости седиментации частиц ( $v$ ) в гравитационном поле рассчитывают радиус агрегатов микрометрического размера. Для динамической вязкости воды  $\eta = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , плотности воды  $\rho_w = 10^3 \text{ кг/м}^3$  и кремнезема  $\rho_p = 2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , если скорость седиментации выражена в см/мин, то средний радиус агрегатов квазисферической формы в микрометрах равен:

$$R_{\text{агр}} = \sqrt{\frac{9\eta \cdot v}{2 \cdot (\rho_p - \rho_w) \cdot g}} = \sqrt{63,7 \cdot v}.$$

В случае полидисперсных агрегатов, когда наблюдается постепенное осветление золя без резкой границы седиментации, распределение агрегатов по размерам рассчитывают методом дисперсионного анализа [10].

*Определение устойчивости пены методом FPDT (foam pressure drop technique [11]).* Образец пены помещают на шоттовский фильтр ПОР 1,4 – ПОР 40 (с диаметром пор 1,4, 16 или 40 мкм), предварительно смоченный дисперсионной средой. В воздушном пространстве под фильтром создают разрежение. Величину пониженного до значений 7 кПа (0.07 атм) давления под фильтром по сравнению с атмосферным ( $\Delta P$ ) измеряли U-образным водным манометром с точностью  $\pm 50 \text{ Па}$ . Ячейки для проведения измерений описаны в [12].

Изменения краевого угла и толщины пенных пленок при изменении степени гидрофобизации поверхности твердых частиц кремнезема представлены в таблице.

Зависимость толщины пенных пленок от степени гидрофобизации поверхности кремнезема

Исходная суспензия	Толщина пленки $h$ , мкм	Степень гидрофобизации	Краевые углы
20 % LudoxHS-40 + 11 ммоль гексилamina + 0.1 моль/л NaCl	7,4	0,055	39
20 % LudoxHS-40 + 22 ммоль гексилamina + 0.1 моль/л NaCl	13,1	0,11	42
2 % LudoxHS-40 + 11 ммоль гексилamina + 0.1 моль/л NaCl	8,2	0,55	25
2 % LudoxHS-40 + 55 ммоль гексилamina + 0.1 моль/л NaCl	12,9	2,75	52

Как видно из приведенной таблицы, повышение степени гидрофобизации поверхности кремнезема от 0,055 до 2,75 сопровождается изменением краевого угла от 25 до 52 градусов. Отметим, что значения краевых углов представлены для суспензий, не содержащих электролит. В отдельных опытах показано, что добавление хлорида натрия приводит к увеличению краевого угла смачивания на 5-10 градусов.

Установлено также, что толщины пенных пленок из суспензии состава 2 % LudoxHS-40 + гексилamin + 0,1 моль/л NaCl были равны 8,2 и 12,9 мкм при увеличении степени гидрофобизации поверхности частиц от 0,55 до 2,75 и соответствующем изменении краевого угла от 25 до 52 градусов. Отметим, что толщина таких же пленок при меньшей концентрации электролита (5 ммоль/л) составляла 8,9 мкм [3].

Подобным образом в суспензиях состава 20 % LudoxHS-40 + гексилamin + 0.1 моль/л NaCl увеличение степени гидрофобизации частиц от 0.055 до 0.11 приводило к формированию пленок толщиной 7,4 и 13,1 мкм. Повышение гидрофо-

бизации поверхности частиц (в суспензии указанного состава) до 0,33 не вызывало изменения толщины пленок. Ранее показано, что изменение гидрофобизации людокса цетиламмонийбромидом от 0,005 до 0,02 на границе раздела «вода – масло» хотя и приводит к росту краевого угла оттекания воды в 1,5 раза, но не сопровождается заметным изменением равновесной толщины модельных эмульсионных пленок. Интересно отметить, что в этом случае формируются тонкие (по сравнению с модельными, полученными на границе раздела вода – газ) пленки толщиной  $h=0,5-0,6$  мкм.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение фракционного состава исходных суспензий.

Методом седиментационного анализа установлено, что в суспензиях, полученных из золя людокс при постоянной концентрации гексиламина и различной концентрации электролита, большая часть гидрофобизованных частиц имеет радиус 4-5 мкм. В частности, в суспензиях состава 2 % Ludox HS-40 + 11 ммоль гексиламина и добавкой хлорида натрия в количестве 0,01; 0,1; 0,4 и 0,7 моль/л NaCl от 50 до 75 % частиц имеют радиус не более 5 мкм. Вероятно, что пленки, толщиной 12,9 и 13,1 мкм, полученные из суспензий составов 2 % LudoxHS + 55 ммоль гексиламина + 0,1 моль/л NaCl и 20 % LudoxHS + 22 ммоль гексиламина + 0,1 моль/л NaCl, образованы двумя слоями гидрофобизованных частиц среднего радиуса порядка 3 мкм и являются бислойнными. Подобную структуру должны иметь и пленки, полученные из суспензии состава 2 % LudoxHS-40 + 11 ммоль гексиламина + 0,5 моль/л NaCl, толщиной 21 мкм.

Важно подчеркнуть, что формирование пленок бислойной структуры происходит уже при малой (2 %) концентрации кремнезема (людокс) и содержании гидрофобизатора 11 ммоль/л. Увеличение концентрации твердой фазы (до 20 %) приводит к изменениям свойств дисперсионной среды. В частности, напряжение сдвига при краевом угле  $50^\circ$  было равно  $0,098$  н/м<sup>2</sup> и  $0,25$  н/м<sup>2</sup> в исходных суспензиях с массовым содержанием кремнезема 2 % и 20 % соответственно [4]. Однако, как показано ранее, изолированные пенные пленки, полученные из суспензий состава 20 % Ludox HS-40 + гексиламин образованы двумя слоями адсорбированных частиц при изменении степени гидрофобизации поверхности от 0,055 до 0,22 ммоль/г. Отметим, что все изученные пленки, образованные двумя слоями адсорбированных частиц, при утоньшении полностью разрушаются.

Пленки бислойной структуры не являются «надежным каркасом» для формирования устойчивой дисперсной системы. Такие пены, как правило, быстро разрушаются. Например, пена из 20 % Ludox + 22 ммоль гексиламина + 5 ммоль/л хлорида натрия ( $\Delta P = 0,01$  кПа) полностью разрушается в течение 9 минут. Тонкий слой пены того же состава ( $H=2-3$  мм) также полностью разрушается при  $\Delta P = 0,05$  кПа, при увеличении концентрации гексиламина от 11 до 44 ммоль/л [6]. Методом седиментационного анализа было установлено, что в суспензиях состава 2 % Аэросил-380 + 11 ммоль гексиламина с концентрацией электролита 0,1 и 0,4 моль/л NaCl более 50 % частиц имеют радиус 12-15 мкм. Было также показано, что увеличение концентрации гидрофобизатора способствует значительной агрегации частиц в исходной суспензии. Например, радиус агрегатов в суспензии с массовым содержанием аэросила 2 % возрастает до 65-70 мкм при увеличении концентрации гексиламина до 50 ммоль/л. Из таких суспензий образуются толстые (более 100 мкм) пленки [3]. Например, модельные пенные пленки из суспензии состава 2 % Аэросил + 49 ммоль/л гексиламина + 5 ммоль/л хлорида натрия имели толщину 132 мкм. Время жизни таких пленок (до полного разрушения) составляет более трех часов. Устойчивость пленок определяет и высокую устойчивость пен, полученных из суспензий того же состава. Слои пены, полученные из суспензии, содержащей 2 % аэросила и 49 ммоль/л гидрофобизатора, были устойчивыми. Через 40 минут (под действием приложенного перепада давления, равного 0,03 атм) разрушалось только 5 % слоя.

Таким образом, агрегация кремнезема (людокс) в суспензиях с малым содержанием гидрофобизатора при увеличении концентрации электролита от 0,1 до 0,7 моль/л приводит к образованию значительного числа частиц радиусом не более 5 мкм. Эти агрегаты способствуют формированию неустойчивых «бислойных» пленок. Агрегации

аэросила при степени гидрофобизации поверхности 2,5 ммоль/г соответствуют радиусы частиц 65-70 мкм, пленки толщиной более 100 мкм и высокоустойчивые пены.

#### Список литературы

1. U.T. Gonzenbach, A.R. Studart, E. Tervoort, L.J. Gauchkler *Langmuir*. – 2006. – №22. – P.10983.
2. P.M. Kruglyakov, S.I. Elaneva, N.G. Vilkova, S.I. Karakashev *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2011. – №165. – P. 108–116.
3. N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, P.M. Kruglyakov, S.I. Karakashev *Mendeleev Commun.* – 2011. – №21. – P. 344–345.
4. N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, S.I. Karakashev *Mendeleev Commun.* – 2012. – №22. – P.227–228.
5. Вилкова Н.Г., Нуштаева А.В. *Известия вузов. Поволжский регион. Естественные науки*. – 2013. – С.127–134.
6. Вилкова Н.Г., Еланева С.И. *Известия вузов. Химия и химическая технология*. – 2013. – №56. – С. 62–65.
7. Fujii S., Ryan A.J., Armes S.P., Long-range structural order, moire patterns and iridescence in latex-stabilized foams, *J. Am. Chem. Soc.* – 2006. – №128. – P. 7882–7886.
8. R.G.Alargova, D.S.Warhadpande, V.N.Paunov, O.D.Velev, *Langmuir*. – 2007. – №23. – P. 1025–1032.
9. Нуштаева, А.В. Стабилизация эмульсий и пен нерастворимыми порошками / А.В.Нуштаева, Н.Г.Вилкова, С.И. Еланева. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 125 с.
10. Кругляков, П.М. Физическая и коллоидная химия. Практикум / П.М.Кругляков, А.В.Нуштаева, Н.Г.Вилкова, Н.В.Кошева. – СПб.: Лань, 2013. – 208 с.
11. Ekerowa, D. *Foam and foam films* / D. Ekerowa, P.M. Kruglyakov. – Amsterdam: Elsevier, 1998. – 773 p.
12. Вилкова, Н.Г. Свойства пен и методы их исследования / Н.Г. Вилкова. – Пенза: ПГУАС, 2014. –120 с.

#### References

1. U.T. Gonzenbach, A.R. Studart, E. Tervoort, L.J. Gauchkler *Langmuir*. – 2006. – №22. – P.10983.
2. P.M. Kruglyakov, S.I. Elaneva, N.G. Vilkova, S.I. Karakashev *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2011. – №165. – P. 108–116.
3. N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, P.M. Kruglyakov, S.I. Karakashev *Mendeleev Commun.* – 2011. – №21. – P. 344–345.
4. N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, S.I. Karakashev *Mendeleev Commun.* – 2012. – №22. – P.227–228.
5. Vilkova N.G., Nushtaeva A.V. *Izv. Povolzhskiy region. Natural science*. – 2013. – P.127–134.
6. Vilkova N.G., Aleneva S.R. *Izv. Chemistry and chemical technology*. – 2013. – №56. – P. 62–65.
7. Fujii S., Ryan A.J., Armes S.P., Long-range structural order, moire patterns and iridescence in latex-stabilized foams, *J. Am. Chem. Soc.* – 2006. – №128. – P. 7882–7886.
8. R.G.Alargova, D.S.Warhadpande, V.N.Paunov, O.D.Velev, *Langmuir*. – 2007. – №23. – P. 1025–1032.
9. Nushtaeva, A.V. *Stabilize emulsions and foams insoluble powders* / A.V. Nushtaeva, N.G. Vilkova, S.I. Elaneva. – Penza: PGUAS, 2011. – 125 p.
10. Kruglyakov, P.M. *of Physical and colloid chemistry. Workshop* / P.M. Kruglyakov, A.V. Nushtaeva, N.G. Vilkova, N.V. Koseva. – SPb.: Lan, 2013. – 208 с.
11. Ekerowa, D. *Foam and foam films* / D. Ekerowa, P.M. Kruglyakov. – Amsterdam: Elsevier, 1998. – 773 p.
12. Vilkova, N.G. *Properties of foams and methods for their study* / N.G. Vilkova. – Penza: PGUAS, 2014. –120 p.

УДК 691.175:620.1

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Бобрышев Анатолий Николаевич,**  
доктор технических наук, член-  
корреспондент РААСН, профессор  
E-mail: postmaster@pgasa.penza.com.ru

**Зубарев Павел Александрович,**  
инженер  
E-mail: pahan\_z@mail.ru

**Лахно Александр Викторович,**  
кандидат технических наук, доцент  
E-mail: lakhnopenza@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Bobrishev Anatoly Nikolaevich,**  
Doctor of Sciences, corresponding member  
RAASN, professor  
E-mail: postmaster@pgasa.penza.com.ru

**Zubarev Pavel Alexandrovich,**  
engineer  
E-mail: pahan\_z@mail.ru

**Lakhno Alexander Viktorovich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
E-mail: lakhnopenza@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ АМИНОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИТОВ

А.Н. Бобрышев, П.А. Зубарев, А.В. Лахно

Проанализированы модифицированные полиуретановые композиты на основе простых полиэфиров.. Предложено два варианта устранения выделения углекислого газа и порообразование.

*Ключевые слова: полиуретан, композит, добавки, свойства, поры, полиэфир*

### INFLUENCE OF AMINO-CONTAINING ADDITIVES ON PROPERTIES OF POLYURETHANE COMPOSITES

A.N. Bobryshev, P. A. Zubarev, A.V. Lakhno

Modified polyurethane composites on the basis of simple polyether are analyzed. Two options for removing unwanted formation of pores and release of carbon dioxide are offered.

*Keywords: polyurethane, composite, additives, properties, pores, polyether*

В современном строительстве и в других областях народного хозяйства постоянно увеличивается ассортимент полимерных композитных материалов (ПКМ) и изделий. В настоящий момент широкое распространение получили полиуретановые материалы [1]. На основе полиуретанов изготавливают эластичные, полужесткие, жесткие, наполненные, армированные, вспененные, ламинированные материалы и изделия. Однако полиуретановые композиции имеют ряд недостатков, одним из которых является высокая восприимчивость отвердителя к влаге окружающей среды и количеству гидроксильных (–ОН)-групп гидроксилсодержащего компонента, вызывающих выделение углекислого газа, образующего многочисленные поры.

Следовательно, значительную роль в создании композиционных строительных материалов с требуемым комплексом эксплуатационных характеристик играет режим их отверждения, определяющий эффективность применения модификаторов [2].

Перспективным методом модификации полиуретановых композиций является получение смесей и сплавов полимеров с различными функциональными группами, например получение полимера, содержащего одновременно эпоксидные, элементоорганические, гидроксильные, изоцианатные и другие группы. Этот путь определяет неограниченные возможности получения полимеров с новыми химическими, физическими и эксплуатационными свойствами [3].

Существенное влияние на свойства полиуретанов оказывают природа и структура гидроксилсодержащего компонента. Проводились исследования возможности формирования полимера на основе простых полиэфиров, так как данный вид полиэфира

имеет меньшую стоимость и в достаточных количествах производится российской химической промышленностью.

Для получения высоких прочностных показателей в сочетании с высокой термической и химической стойкостью необходимо образование разветвленной структуры полимера [3,4]. В связи с этим наибольший интерес представляют полифункциональные полиэфиры, имеющие относительно невысокую молекулярную массу. Из распространенных простых полиэфиров этим критериям удовлетворяют: Лапрол 805А, имеющий пять активных (–ОН)-групп (функциональность – 5) и молекулярную массу 800, полученный оксипропилированием ксилита; Пропол (Лапрол) 490, многоатомный полиэфирный спирт, полученный оксипропилированием глицерина и сахарозы; Лапрол 373, имеющий три активные (–ОН)-группы (функциональность – 3) и молекулярную массу (370±20); Пропол 1055, полученный полимеризацией оксипропилена с глицерином с последующей очисткой.

Для снижения действия влаги на полиуретановые материалы в настоящий момент используют менее гидрофильные полиэфиры в сочетании с применением гидроадсорбентов и пеногасителей, что существенно увеличивает стоимость и ограничивает диапазон эксплуатационных свойства полиуретановых материалов [5].

С целью устранения эффекта газообразования и получения жестких малопористых полиуретанов разработан способ, заключающийся в том, что в полиэфирную составляющую вводится кремнийорганический модификатор-гелеобразователь класса полисилазанов [5, 6]. Зачастую данный способ не является единственно эффективным, так как при формировании клеевого шва в большинстве случаев создаются специальные условия, позволяющие исключить данный эффект физическим воздействием. При формировании покрытий непосредственно на строительном объекте создать специальные условия весьма затруднительно. Покрытия имеют большую площадь соприкосновения композитного материала с защищаемой поверхностью и воздушным пространством, содержащими значительное количество воды, приводящей к порообразованию, что категорически недопустимо. Исследования количества влаги, набранной различными полиэфирами из окружающей среды за 24 часа в нормальных условиях, показали (табл. 1), что простые полиэфиры ввиду наличия большого количества активных гидроксидов значительно гидрофильнее применяемых для формирования наливных покрытий компонентов на основе сложных полиэфиров. Такая высокая гидрофильность простых полиэфиров не позволяет предотвратить порообразование с помощью введения комплекса пеногасящих и гидроадсорбционных добавок [5].

Т а б л и ц а 1

Количество влаги в тонком слое полиэфиров через 24 часа экспозиции при нормальных условиях

Лапрол 805 А (модифицированный МСН 7-80)	Пропол 490 (модифицированный МСН 7-80)	Лапрол 373 (модифицированный МСН 7-80)	Пропол 1055 (модифицированный МСН 7-80)	DESMOPHEN 1150
3,4 (3,1)	3,4 (3,13)	3,6 (3,45)	1,8 (1,6)	0,25

При совмещении полиэфирной составляющей с полиизоцианатом (ПИЦ) полисилазан, связывая влагу, позволяет реакции взаимодействия полиэфира с изоцианатом протекать качественнее. При этом взаимодействие ПИЦ с водой сводится к минимуму и протекает медленнее основной реакции полимеризации.

Однако данные о наличии влаги в простых полиэфирах, модифицированных полиметилсилазаном (МСН 7-80), доказывают, что основной эффект снижения пенообразования достигается ускорением полимеризации и образованием предварительной мочевиновой сшивки без выделения углекислого газа.

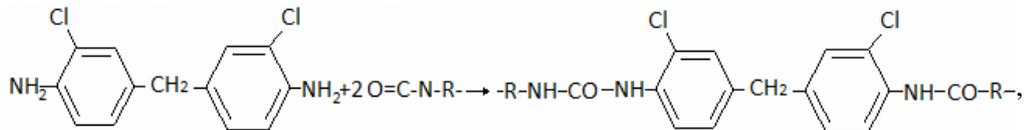
При совмещении с полиизоцианатом полиэфир, модифицированный полисилазаном, образует прочные пространственные сшивки. Группа ( $-\text{NH}-$ ) полисилазана также в определенной мере является катализатором уретанообразования. Реакция взаимодействия изоцианатов с аммиаком, образующимся в процессе распада макромолекул полисилазана, как и с самим полисилазаном, активнее реакции взаимодействия изоцианатов с водой. При этом выделяется тепло, что ускоряет процесс взаимодействия гидроксидов простого полиэфира с изоцианатом.

Скорость протекания реакции образования полиуретана растет с увеличением полисилазанового модификатора в полиэфирном компоненте. Химические свойства полисилазанов позволяют ускорить основную реакцию образования полиуретанов – взаимодействие изоцианатных ( $-\text{NCO}$ )- и гидроксильных ( $-\text{OH}$ )-групп отвердителя и модифицированного полиэфира. При этом реакция взаимодействия ПИЦ и воды, содержащейся в полиэфире и в окружающей среде в виде паров и адсорбированной на поверхности твердых веществ, протекает медленнее основной реакции. Экспериментально доказано [5], что введение 4 масс. частей МСН7-80 к 100 масс. частям простого полиэфира при отверждении ароматическими изоцианатами позволяет исключить порообразование при формировании покрытий в нормальных условиях.

К достоинствам использования полиметилсилазана в качестве аминоксодержащего вещества относятся его жидкофазное состояние, высокое содержание ( $-\text{NH}$ )-групп и относительно невысокая их активность из-за наличия силановой связи. Основным недостатком является высокая стоимость.

В связи с необходимостью удешевления полимерного композита были проведены исследования с другими аминоксодержащими веществами – полиэтиленполиамином, этилендиамином и 4,4'-метилен-бисортохлоранилином (МОКА), также простые полиэфиры насыщались непосредственно аммиаком. После чего для отверждения модифицированных таким образом полиэфиров вводились изоцианаты. Из-за слишком высокой активности алифатических ( $-\text{NH}_2$ )- и ( $-\text{NH}-$ )-групп полиэтиленполиамина, этилендиамина и аммиака сформировать пространственно сшитый ПКМ не удалось. При введении изоцианатов с высокой скоростью образовывались сгустки мочевины, представляющие собой примеси твердой фазы в смеси простых полиэфиров и излишков непрореагировавших изоцианатов, которые в дальнейшем, также взаимодействуя с полиэфиром и влагой окружающей среды, приводили к формированию пористого композита с дефектами из-за наличия сгустков неправильной формы.

При растворении 30 масс. частей 4,4'-метилен-бисортохлоранилина в 100 масс. частях простых полиэфиров и дальнейшем отверждении данного раствора изоцианатами удалось сформировать покрытие [6]. Меньшее количество МОКА не позволяло в необходимой мере предотвратить пенообразование, большее – приводило к выпадению кристаллов МОКА при хранении раствора. При данном способе в ходе реакции взаимодействия 4,4'-метилен-бисортохлоранилина и изоцианата происходит образование линейных мочевиновых сшивок



которые совместно с уретановыми соединениями, образующимися в ходе реакции, создают взаимодополняющие сетки.

С целью устранения эффекта вспенивания осуществлялось модифицирование полиметилсилазаном МСН 7-80 в количестве 4 масс. части МСН 7-80 к 100 масс. частям полиэфира либо в количестве 30 масс. частей МОКА к 100 масс. частям полиэфира. При этом полимеры, имеющие более разветвленную структуру и полученные при взаимодействии пяти функциональных полиэфиров с изоцианатами, обладают большей прочностью и меньшей эластичностью в отличие от менее разветвленных на основе трех функциональных полиэфиров (табл. 2).

Предел прочности, относительное удлинение и модуль упругости при разрыве покрытий на различных полиэфирах (с разными способами устранения порообразования)

№ п/п	Полиэфир	Способ устранения порообразования	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Модуль упругости, МПа
1	DESMOPHEN 1150	Комплексное введение гидроадсорбентов и пеногасителей	20,12	13,89	144,85
2	Лапрол 805 А	Полиметилсилазан	58,83	14,61	402,67
		4,4'-метилен-бисортохлоранилин	74,31	9,54	778,93
3	Пропол 490	Полиметилсилазан	51,36	7,49	685,7
		4,4'-метилен-бисортохлоранилин	78,83	7,08	1113,42
4	Лапрол 373	Полиметилсилазан	29,41	36,73	80,07
		4,4'-метилен-бисортохлоранилин	44,18	28,33	155,95
5	Пропол 1055	Полиметилсилазан	0,5	25,3	1,98
		4,4'-метилен-бисортохлоранилин	14,19	39,75	36

Таким образом, установлено, что аминоксодержащие вещества, значительно снижающие действие воды в процессе полимеризации, позволяют создавать малопористые материалы и ускоряют процесс взаимодействия модифицированного полиэфира и полиизоцианата по основным сшивкам.

Выявлено, что композиты, полученные при введении в простые полиэферы МОКА, во всех случаях обладают более высокими прочностными и деформационными показателями по сравнению с полиэферами, модифицированными полиметилсилазаном. Лучшая реакционная способность МОКА объясняется образованием взаимодополняющих сеток, имеющих большое количество фрагментов, содержащих ароматические циклы.

#### Список литературы

1. Кольцов, Н.И. Полиуретаны / Н.И. Кольцов, В.А. Ефимов // Соровский образовательный журнал. – 2000. – Том 6, № 9. – С. 31–36.
2. Соколова, Ю.А. Модифицированные эпоксидные клеи и покрытия в строительстве / Ю.А. Соколова, Е.М. Готлиб. – М.: Стройиздат, 1990. – 176 с.
3. Бобрышев, А.Н. Особенности получения эпоксиполиуретановых смесевых композитов / А.Н. Бобрышев, П.А. Зубарев, П.И. Кувшинов, А.В. Лахно, Н.Н. Туманова // НАУКА: 21 ВЕК. – 2012. – №1(17). – С. 75–81.
4. Технология пластических масс / под ред. Е.А. Брацыхина. – М.: Химия, 1982. – 325 с.
5. Зубарев, П.А. Защитные износостойкие покрытия на основе модифицированных полиуретанов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / П.А. Зубарев. – Пенза, 2014. – 16 с.
6. Лахно, А.В. Эпоксиполиуретановый клей для соединения линолеума встык: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / А.В. Лахно. – Пенза, 2006. – 20 с.
7. Зубарев, П.А. Производственный процесс получения защитных полиуретановых покрытий / П.А. Зубарев, А.В. Лахно, Е.Г. Рьякин // Молодой учёный. – 2014. – № 5 (64). – С. 57–59.

## References

1. Koltcov, N.I. Polyurethanes / N.I. Koltcov, V.A. Efimov // Soros Educational Journal. – 2000. – Volume 6, № 9.– P. 31–36.
2. Sokolova, Y.A. Modified epoxy adhesives and coatings in construction / Y.A. Sokolova, E.M. Gottlieb. – M.: Stroyizdat, 1990. – 176 p.
3. Bobrishev AN Peculiarities of mixed Epoxy composites / A.N. Bobrishev, P.A. Zubarev, P.I. Pitchers , A.V. Lakhno, N.N. Tumanova // SCIENCE : 21 CENTURY. – 2012. – № 1 (17).– P. 75–81.
4. Plastics Technology / ed. E.A. Bratsyhina. – M.: Chemistry, 1982. – 325 p.
5. Zubarev, P.A. Protective wear resistant coatings based on modified polyurethane: abstract. dis. ... Cand. tehn. Sciences / P.A. Zubarev. – Penza, 2014. – 16 p.
6. Lakhno, A.V. Epoxy adhesive for linoleum compound butt: abstract. dis. ... Cand. tehn. Sciences / A.V. Lakhno. – Penza, 2006. – 20 p.
7. Zubarev, P.A. Production process is the production of protective polyurethane coatings / P.A. Zubarev, A.V. Lakhno, E.G. Rylyakin // Young scientist. – 2014. – № 5 (64). – P. 57–59.

УДК 666.94

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Тараканов Олег Вячеславович**,  
доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, декан факультета  
«Управление территориями», почетный  
строитель России, почетный работник  
высшего профессионального образования  
E-mail: zigk@pguas.ru

**Калашников Владимир Иванович**,  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Технологии строительных  
материалов и деревообработки»  
E-mail: techbeton@pguas.ru

**Белякова Елена Александровна**,  
старший преподаватель кафедры  
«Кадастр недвижимости и право»  
E-mail: var\_lena@mail.ru

**Стешкина Ксения Алексеевна**,  
студентка

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Tarakanov Oleg Vyacheslavovich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and Construction  
Sciences, Decan of faculty «Management of  
territories», Honorary builder of Russia, Honored  
Worker of High Professional Education  
E-mail: zigk@pguas.ru

**Kalashnikov Vladimir Ivanovich**,  
Doctor of Sciences, Professor,  
Head of the department «Technology  
of building materials and wood processing»  
E-mail: techbeton@pguas.ru

**Belyakova Elena Aleksandrovna**,  
Senior lecture of the department «Real estate  
cadastre and right»  
E-mail: var\_lena@mail.ru

Steshkina Kseniya Alekseevna,  
student

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАРБОНАТНОГО МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ НА КИНЕТИКУ НАЧАЛЬНОГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И СОСТАВ ГИДРАТНЫХ ФАЗ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

О.В. Тараканов, В.И. Калашников, Е.А. Белякова, К.А. Стешкина

Рассмотрено влияние тонкодисперсного кальцита, комплексной добавки на основе кальцита и суперпластификатора С-3 на формирование начальной структуры цементных материалов по показателям кинетики изменения пластической прочности. По результатам рентгенофазового анализа продуктов гидратации цементного камня установлен характер влияния кальцита на состав гидросиликатных и гидроалюминатных фаз. Проанализировано влияние кальцита на прочность цементно-песчаных растворов. Определены оптимальные дозировки тонкодисперсного кальцита.

*Ключевые слова: кальцит, структурообразование, продукты гидратации, фазовый состав, прочность, цементно-песчаный раствор*

## ASSESSING THE IMPACT OF CARBONATE MICROFILLER ON THE KINETICS OF STRUCTURE AND COMPOSITION OF INITIAL PHASES OF HYDRATED CEMENT SYSTEMS

O.V. Tarakanov, V.I. Kalashnikov, E.A. Belyakova, K.A. Steshkina

The analysis of the influence of fine calcite complex supplements based on calcite and superplasticizer C-3 on the formation of initial structure of cement materials in terms of the kinetics of plastic strength changes is discussed. According to the results of X-ray analysis of the products of hydration of cement stone the character of calcium influence on the composition of calcite hydrosilicate and hydroaluminate phases. The calcite impact of the strength of cement mortars is analyzed. The optimal dosage of the fine-graded calcite is defined.

*Keywords: calcite, structure formation, hydration products, phase composition, strength, cement-sand mortar*

В последние годы в производство бетона широко внедряются технологии получения многокомпонентных бетонов нового поколения, как высокопрочных, так и традиционных. Это достигается благодаря эффективному использованию не только современных гиперпластификаторов, но и минеральных микронаполнителей, способствующих получению плотной и прочной структуры с высокой степенью концентрации твердой среды.

Частицы микронаполнителя, расположенные между частицами цемента, кроме функции улучшения реологического состояния системы, выполняют ещё и роль центров кристаллизации гидратных фаз цемента. Последние, осаждаясь на частицах микронаполнителя, формируют кристаллизационную оболочку (мосты), способствуют срастанию частиц и, в целом, повышению прочности структуры. Характер влияния дисперсных наполнителей на формирование кристаллизационного процесса, плотность и прочность цементных систем во многом определяется зарядовым состоянием поверхности частиц [1].

Повышение плотности упаковки цементных систем зависит не только от объемной концентрации твердой фазы, обеспечивающей максимальное заполнение пустот, но и от процессов формирования гелеобразной и кристаллических фаз, обеспечивающих, в свою очередь, сближение микрокристаллов между собой и между частицами микронаполнителя и цемента до возможности образования атомарных контактов. Известно, что дисперсность гидратов и форма кристаллических фаз играют в каркасе определяющую роль.

В начальный период гидратации цементных систем одновременно с растворением исходного вяжущего параллельно протекают процессы поверхностной и растворной гидратации, обменные химические реакции и реакции присоединения, а также образования зародышей кристаллизации. Поверхностная гидратация и осаждение субмикрокристаллов, выкристаллизовывающихся из растворов на частицах вяжущего и инертных материалах, приводят к образованию пористых гидратных пленок на поверхности макрочастиц и частичному экранированию гидратирующихся зерен. Прочность и проницаемость пленок определяются структурой и свойствами гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, а также двойных солей-гидратов, выкристаллизовывающихся из растворов в присутствии химических добавок и микронаполнителей.

В качестве микронаполнителей в цементных системах широкое распространение получили микрокремнезем, метакаолин, молотый кварцевый песок, кальцит, золы и др. Эти минеральные добавки в технологии бетонов и особенно многокомпонентных бетонов нового поколения выполняют главные функции – создание тонкодисперсной реологически активной матрицы с целью повышения эффективности супер- и гиперпластификаторов и уплотнение структуры бетона [2].

В отличие от перечисленных видов минеральных добавок, содержащих кремнезем и другие химически активные вещества, кальцит в цементных системах (в щелочной среде) не является химически активным.

Однако анализ химического и кристаллохимического строения кальцита и процессов гидратации карбонатонаполненных цементных систем свидетельствует о возможности образования ряда гидратных фаз, уплотняющих и упрочняющих структуру цементного камня (скоутит, основные карбонаты кальция, гидрокальциты, гидрокарбоалюминаты кальция и др.). Важное значение при анализе химического поведения кальцита в цементных системах имеет возможность эпитаксиального наращивания гидратных фаз цемента на гранях кристаллического кальцита.

В технологии бетонов кальцит вводится либо взамен цемента с целью сокращения его расхода (до 10-15 %), либо в многокомпонентные бетоны нового поколения (до 100 % от массы цемента) для увеличения дисперсной матрицы и соответственно для улучшения реотехнологических свойств бетонных смесей. Вместе с тем в исследованиях недостаточно внимания уделяется процессам раннего структурообразования и анализу состава гидратных фаз цементных материалов с добавками тонкодисперсного кальцита, что во многом определяет структуру цементных материалов, их прочность и долговечность.

В задачу исследований входило изучение влияния тонкомолотого кальцита и комплексной смеси кальцита с суперпластификатором С-3 на кинетику начального структурообразования цементно-песчаных композиций и анализ состава гидратных фаз цементного камня с целью установления механизма действия добавки. Необходимо определить оптимальные дозировки добавки и ее влияние на прочность цементно-песчаных растворов.

Оценка влияния добавок кальцита на формирование начальной структуры цементных композиций проводилась по кинетике изменения пластической прочности цементно-песчаных растворов, в которых соотношение цемента и песка принималось равным 1:2, исходя из условий, близких к реальному Ц/П-отношению в цементных растворах и бетонах.

Исследования кинетики начального структурообразования цементно-песчаных растворов с добавкой кальцита проводились в интервале дозировок от 5 до 20 % от массы цемента. Добавка кальцита использовалась как индивидуально, так и в смеси с суперпластификатором С-3.

Анализ результатов пластометрических исследований, представленных на рис. 1, свидетельствует об активации процесса начального структурообразования, возрастающего с увеличение дозировки от 5 до 20 % от массы цемента.

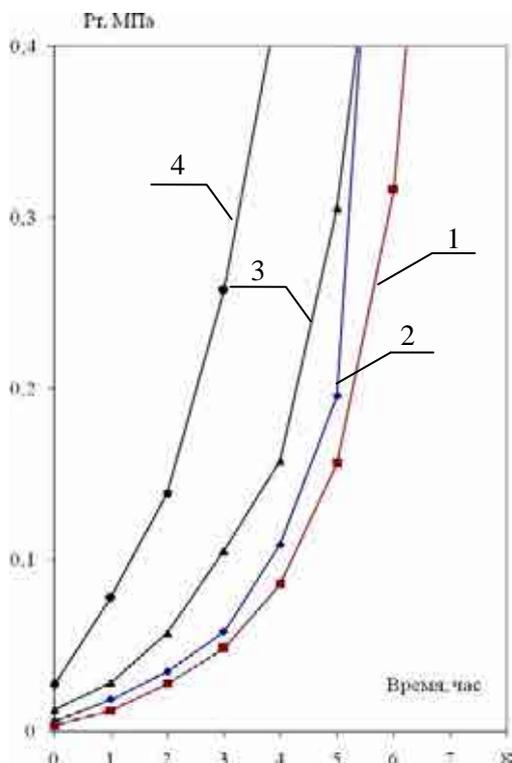


Рис. 1. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора Ц/П=1:2; В/Ц=0,5; ПЦ 400 Д20:  
1 – без добавки; 2 – с добавкой кальцита 5 %;  
3 – то же 10 %; 4 – то же 20 %

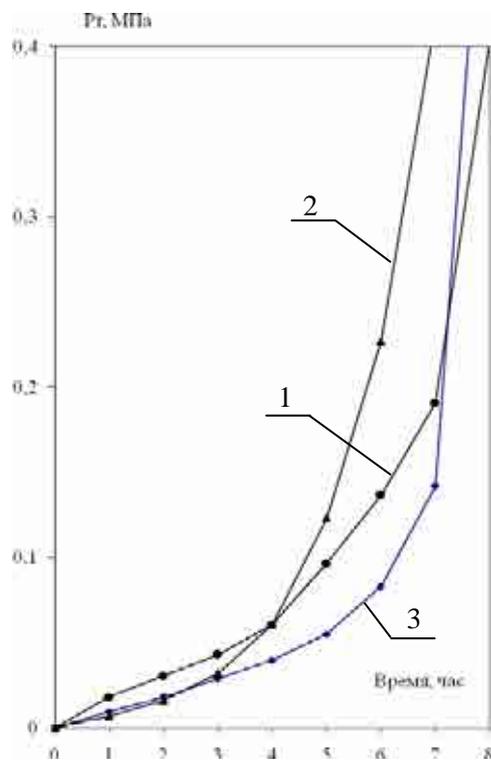


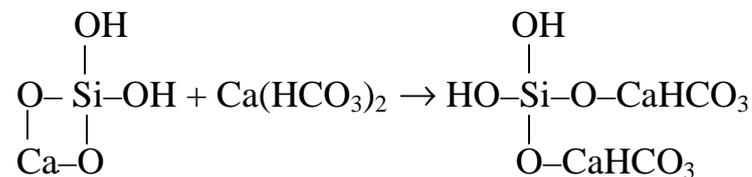
Рис. 2. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора Ц/П=1:2; В/Ц=0,5; ПЦ 500 Д0:  
1 – без добавки; 2 – с добавкой кальцита 10 %;  
3 – кальцита 10 % и суперпластификатора С-3 0,5 %

Установлено, что кинетика структурообразования цементно-песчаного раствора с комплексной добавкой кальцита и суперпластификатора С-3 в интервале 4-6,5 ч замедляется, о чем свидетельствует характерный пологий участок на пластограмме (рис. 2). В последующем (после 6,5 ч) вследствие активации кристаллизационных процессов и диспергирующего влияния С-3 пластическая прочность резко возрастает, причем с большим углом наклона пластометрической кривой по сравнению с составом с индивидуальной добавкой кальцита.

Показано, что при повышенном содержании кальцита заметное ускорение роста пластической прочности наблюдается лишь в период после 6 ч. Введение суперпластификатора С-3 снижает скорость структурообразования в период 1-6 ч, однако в последующем по истечении 6 ч пластическая прочность возрастает более интенсивно по сравнению с составом с индивидуальной добавкой кальцита.

Резкое ускорение начального структурообразования системы с высокой степенью наполнения кальцитом, очевидно, связано не только с активацией образования гидратов AFm- и AFt-фаз, но и с уплотнением структуры в присутствии тонкодисперсного наполнителя.

Известно, что активация начального структурообразования обусловлена формированием гидратов AFm- и AFt-фаз и в более поздний период формированием гидросиликатной структуры. Рентгенофазовый анализ состава продуктов гидратации цементного камня показал, что в системе происходит активное формирование гидросиликатов кальция различной структуры; следовательно, ускорение кинетики роста пластической прочности может быть обусловлено в том числе за счёт комплексных солей, образующихся на основе гидросиликатов кальция, в присутствии кальцита, например  $\text{CaHSiO}_4 \cdot \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , по схеме



Одной из возможных причин интенсивного структурообразования и роста прочности цементных систем, наполненных карбонатом кальция, является активация кристаллизационных процессов на подложке тонкодисперсного кальцита. Разнообразие соотношений в развитии граней кристаллов является результатом периодически повторяющихся внутренних сил связей между частицами и условий роста кристаллов. Многообразие габитусов кристаллов кальцита и близость его кристаллохимических характеристик к параметрам формирующихся в системе гидратов определяют возможность интенсивного гидратообразования в цементных системах, наполненных кальцитом.

Грани кальцита, находящиеся в диффузионном потоке раствора, растут быстрее, чем другие грани. Поэтому начальный период гидратации, для которого характерно протекание основных реакций в обводнённых условиях, является наиболее благоприятным для условий проявления изоморфизма формирующихся гидратных фаз с кальцитом.

С целью изучения влияния кальцита на состав гидратных фаз цементного камня была выполнена серия рентгенофазовых исследований образцов гидратированного цемента с добавкой тонкодисперсного кальцита.

Установлено, что в присутствии кальцита проходит активация образования гидросиликатных фаз, близких по структуре к ксонотлиту ( $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), гидролиту ( $2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ ) и труксотиту ( $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 0,67\text{H}_2\text{O}$ ). Из этого следует, что повышение прочности цементных материалов с добавкой кальцита может быть объяснено формированием в цементной системе гидросиликатов кальция различного кристаллохимического строения и гранулометрической неоднородности. По данным рентгенофазового анализа, в присутствии кальцита происходят образование и кристаллизация большего количества дисперсных метастабильных химически активных фаз, уплотняющих структуру и повышающих прочность. Рентгенофазовые исследования показали, что в составе гидратных фаз присутствуют моногидросульфат алюмината кальция и  $\text{CAH}_{10}$ . Образование моногидросульфат алюмината кальция ГСАК-1 происходит вследствие перекристаллизации эттрингита, хотя следует иметь в виду, что термодинамическая вероятность реакции его образования достаточно высока.

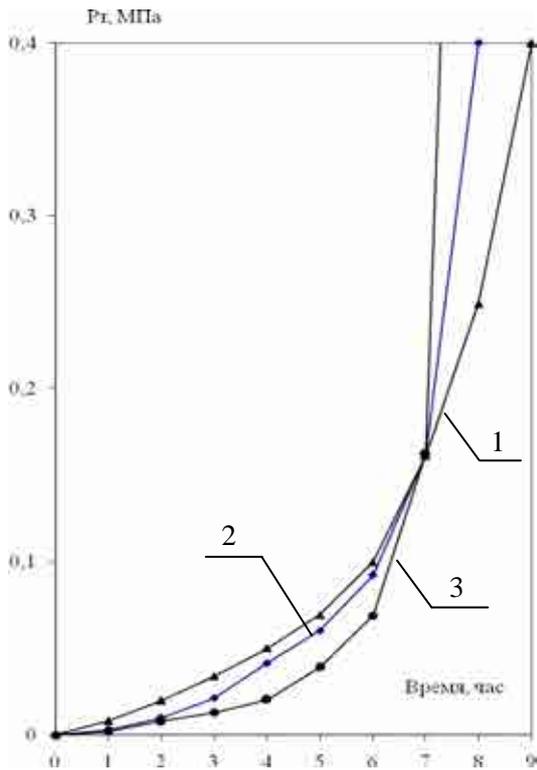


Рис. 3. Изменение пластической прочности цементно-песчаного раствора Ц/П=1:2; В/Ц=0,5; ПЦ 500 Д0:  
 1 – без добавки; 2 – с добавкой кальцита 20 %;  
 3 – с добавкой кальцита 20 % и суперпластификатора С-3 0,5 %

Анализ кинетики водопоглощения цементного камня, наполненного кальцитом в количестве 5, 10 и 20 % от массы вяжущего, показал, что открытая пористость образцов во всех случаях снижается по сравнению с контрольным составом и с увеличением дозировки добавки (рис. 4).

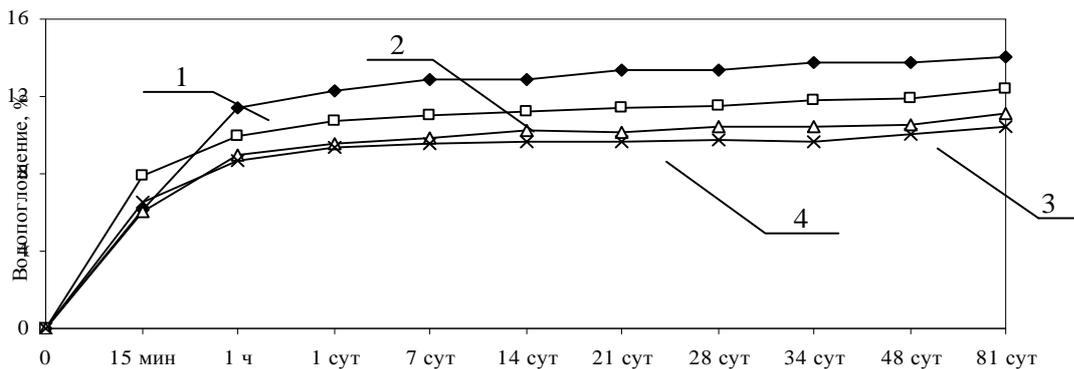


Рис. 4. Кинетика водопоглощения цементного камня ПЦ400; В/Ц=0,45:  
 1 – без добавки; 2 – с добавкой кальцита (5 %); 3 – то же 10 %; 4 – то же 20 %

На раннем этапе гидратации, когда происходит активное образование гидросульфатоалюминатов и гидратов AFt-фазы, возможна также реакция образования гидрокарбоалюмината кальция трёхсульфатной формы. В случае, когда система наполнена тонкодисперсным кальцитом, к 28 сут эттрингит на рентгенограммах практически не фиксируется. Это свидетельствует о переходе его в моногидро-

Образование гидратов  $CAH_{10}$  в цементной системе является положительным фактором, поскольку кристаллы  $CAH_{10}$ , имеющие форму гексагональных призм, на ранних стадиях структурообразования уплотняют и армируют систему. Известно также, что  $CAH_{10}$  может кристаллизоваться в виде игл или вытянутых пластинок, способных образовывать дендриты и объединяться в устойчивые пространственные структуры.

Недостатком этой фазы является тот факт, что при перекристаллизации её в более стабильную фазу  $C_3AH_6$  система значительно разуплотняется (плотность  $CAH_{10}$  составляет  $1730 \text{ кг/м}^3$ , а плотность  $C_3AH_6$  –  $2530 \text{ кг/м}^3$ ). Однако подобное разуплотнение может приводить лишь к незначительному снижению прочности на ранних этапах твердения.

Уплотнению цементной системы с добавкой кальцита способствуют не только гидраты AFt-фазы и  $CAH_{10}$ , но и гидроксид алюминия, который выделяется при гидролизе алюминатных минералов и в ходе реакций с  $CAH_{10}$ . В дальнейшем он может кристаллизоваться с образованием бемита и гидраргиллита.

сульфоалюминат кальция. Снижение количества этtringита сопровождается увеличением доли  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и ГСАК-1. В период перекристаллизации этtringита в ГСАК-1 может наблюдаться замедление роста прочности, который восстанавливается в дальнейшем вследствие кристаллизации гидросиликатов кальция. К 28 сут, по данным РФА, в системе стабильно присутствует не только ГСАК-1, но и фаза  $\text{C}_3\text{AH}_{10}$ , которая армирует и упрочняет структуру и способствует повышению прочности системы и прочности в период до 28 сут. Однако следует учесть, что при резком изменении температурных условий твердения (например, прогрев в период до 7 сут, и особенно в период 1-3 сут) могут происходить незначительные сбросы прочности вследствие перекристаллизации  $\text{C}_3\text{AH}_{10}$ , а также других АFm-фаз, формирующихся в системе ( $\text{C}_2\text{AH}_8$ ,  $\text{C}_4\text{AH}_{13-19}$ ), в наиболее термодинамически устойчивую фазу  $\text{C}_3\text{AH}_6$ .

В присутствии  $\text{C}_3\text{AH}_{10}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  возможно вторичное формирование моногидросульфалюмината кальция, а при избытке  $\text{CaCO}_3$  – формирование  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

Сами частицы кальцита, располагающиеся между частицами цемента, образуют плотно упакованную систему и способствуют созданию стеснённых условий при твердении, увеличению количества и повышению прочности межчастичных контактов. В такой структуре происходит значительная активация гидратационных процессов с учётом возможности эпитаксиального наращивания гидратов на гранях кальцита. Гидроокись алюминия, образующаяся в этой системе, на ранних этапах твердения, «смягчает» первичный жёсткий гидроалюминатный каркас.

Анализ электронных снимков поверхности кальцита свидетельствует о том, что максимальный размер частиц шлама составляет не более 10 мкм, а минимальный – менее 0,5 мкм (рис. 5, 6).

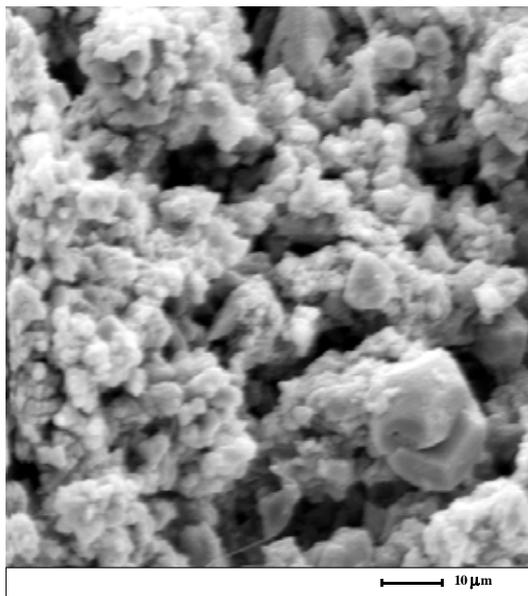


Рис. 5. Сканирующая микроскопия поверхности кальцита ( $\times 1500$ )

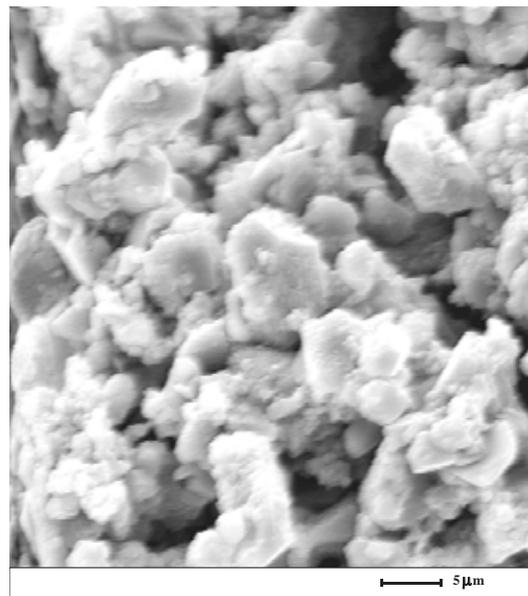


Рис. 6. Сканирующая микроскопия поверхности кальцита ( $\times 3000$ )

Основная масса частиц имеет размеры 2-4 мкм и находится в виде агрегатов с высокой степенью пустотности. Форма частиц весьма разнообразна. Большая часть из них представлена в виде объемных пространственных образований неправильной геометрической формы. В отдельных случаях частицы имеют пластинчатое строение в виде слоистых монокристаллов и отдельных сочленённых пластинок, подтверждающих структуру кальцита.

Анализ электронных снимков позволяет сделать вывод о том, что большинство частиц кальцита находится в агрегированном состоянии. Поэтому повышение эффективности применения кальцита в качестве добавки, уплотняющей структуру и повышающей прочность цементных материалов, может быть достигнуто совместным

его использованием с суперпластификаторами. Известно, что эффект упрочнения зависит от размера частиц и равномерности их распределения в цементной матрице; поэтому основной целью при введении в наполненные системы эффективных суперпластификаторов является диспергирование не только частиц цемента, но и частиц микронаполнителя.

Высокая эффективность применения тонкодисперсного кальцита в цементных системах с целью активации процессов начального структурообразования и повышения прочности достигается в интервале дозировок до 20 % от массы вяжущего. При оптимальной дозировке кальцита в количестве 10-15 % от массы цемента повышение прочности образцов с микронаполнителем в ранние сроки составляет 20-30 % и в период до 1-3 месяцев – 10-15 % по сравнению с контрольным составом.

Установлено замедляющее влияние суперпластификатора С-3 (при введении его совместно с кальцитом) на кинетику начального структурообразования цементных систем.

Положительная роль суперпластификаторов (СП) в составе комплексных добавок на основе кальцита заключается в том, что замедляющее действие повышенных дозировок кальцита компенсируется диспергирующим влиянием СП, вследствие чего в наполненной цементной системе создаются благоприятные условия для активации гидратационных процессов за счет подвода жидкой фазы к цементным частицам и создания оптимальных условий для топологического и кристаллизационного упрочнения структуры цементных материалов.

Установлено, что в присутствии кальцита происходит активация образования метастабильных химически активных гидросиликатных фаз, способствующих повышению прочности цементных материалов. На раннем этапе гидратации наблюдается активация образования гидроалюминатов кальция  $CAH_{10}$  и  $A_{Ft}$ -фаз, повышающих пластическую прочность цементно-песчаных растворов. В последующем гидраты  $A_{Ft}$ -фаз перекристаллизуются в более стабильные фазы – моногидросульфид- и моногидрокарбоалюминаты кальция.

Показано, что рациональным с точки зрения обеспечения высоких реологических и технологических свойств растворных смесей и активации начального структурообразования является применение в цементно-песчаных растворах комплексной добавки на основе кальцита в количестве до 15 % от массы вяжущего совместно с суперпластификатором С-3 (0,5-0,7 %). При таких дозировках комплексная добавка повышает пластичность и стабильность растворных смесей, улучшает их перекачиваемость и снижает трудоемкость укладки и затирки штукатурных растворов на 15-20 % по сравнению с бездобавочными составами. На ранних этапах (до 3-4 ч) комплексная добавка замедляет раннее схватывание смесей, а в последующий период твердения растворов (после укладки) обеспечивает высокий темп формирования структуры и упрочнения цементных материалов вследствие создания оптимальной топологической структуры и карбонатной активации кристаллизационных процессов.

#### Список литературы

1. Коренькова, С.Ф. Основы и концепции утилизации химических осадков промстоков в стройиндустрии / С.Ф. Коренькова, Т.В. Шеина. – Самара: Самарский ГАСУ, 2004. – С. 208.
2. Калашников, В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов / В.И. Калашников // Технология бетонов. – 2007. – №5. – С. 8-10; 2007. – №6. – С. 8-11; 2008. – №1. – С. 22-26.

#### References

1. Korenkova, S.F. Fundamentals and concepts of chemical precipitation effluent disposal in construction / S.F. Korenkova, T.V. Shein. – Samara: SamGSU, 2004. – P. 208.
2. Kalashnikov, V.I. Through rational rheology – in the future of concrete / V.I. Kalashnikov // Concrete technology. – 2007. – N5. – P. 8-10; 2007. – N6. – P. 8-11; 2008. – N1. – P. 22-26.

УДК 691.32

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Тараканов Олег Вячеславович**,  
доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, декан факультета  
«Управление территориями», почетный  
строитель России, почетный работник  
высшего профессионального образования  
E-mail: zigk@pguas.ru

**Калашников Владимир Иванович**,  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Технологии строительных  
материалов и деревообработки»  
E-mail: techbeton@pguas.ru

**Беякова Елена Александровна**,  
старший преподаватель кафедры «Кадастр  
недвижимости и право»  
E-mail: var\_lena@mail.ru

**Москвин Роман Николаевич**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Эксплуатация автомобильного  
транспорта»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Tarakanov Oleg Vyacheslavovich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and Construction  
Sciences, Decan of faculty «Management of  
territories», Honorary builder of Russia, Honored  
Worker of High Professional Education  
E-mail: zigk@pguas.ru

**Kalashnikov Vladimir Ivanovich**,  
Doctor of Sciences, Professor,  
Head of the department «Technology  
of building materials and wood processing»  
E-mail: techbeton@pguas.ru

**Belyakova Elena Aleksandrovna**,  
Senior lecture of the department «Real estate  
cadastre and right»  
E-mail: var\_lena@mail.ru

**Moskvin Poman Nikolaevich**,  
Candidate of Science, Associate Professor  
of the department «Operation of automobile  
transport»

## САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

О.В. Тараканов, В.И. Калашников, Е.А. Беякова, Р.Н. Москвин

Показана возможность использования в самоуплотняющихся бетонах местных тонкомолотых горных пород без ухудшения реологических свойств бетонных смесей. Получены высокопрочные бетоны нового поколения, обладающие высокими технико-экономическими показателями и низкими удельными расходами цемента на единицу прочности.

*Ключевые слова: самоуплотняющиеся бетоны, рецептурно-технологические параметры, местные сырьевые ресурсы, прочность*

## SELF COMPACTING CONCRETE OF NEW GENERATION BASED ON LOCAL RAW MATERIALS

O.V. Tarakanov, V.I. Kalashnikov, E.A. Belyakova, R.N. Moskvin

The possibility to use SCC from fine local rocks without deterioration of rheological properties of concrete mixtures is shown. High-strength concrete of new generation with high technical and economic indices and low unit costs per unit of cement strength is obtained.

*Keywords: self compacting concrete, technological parameters, local raw materials, strength*

В настоящее время огромное количество отходов сосредоточено в отвалах горно-добывающей промышленности, которая не относится к безотходным производствам. Рост объемов отходов в этой отрасли превышает темпы роста объемов производства минеральной продукции. По мнению ведущих геологов [1], через 10-15 лет может возникнуть дефицит полезных ископаемых. Отходы горнопромышленного сектора фракции 0-5 мм в технологии бетонов практически не используются и концентрируются в отвалах. Стремление изменить ситуацию благодаря вовлечению в хозяй-

ственный оборот вторичного техногенного сырья проявляется повсеместно, но с разной результативностью. Академик РАН Ю.Н. Малышев отмечает, что в странах Западной Европы и США отходы горнопромышленного комплекса используются на 85-90 %. Это связано с дефицитом и высокой стоимостью земель, наличием санкций на загрязнение окружающей среды, а также системы поощрительных платежей при применении отходов. В России же количество перерабатываемых отходов, по мнению большинства специалистов, составляет 20-25 % от их общего объема.

Задачей настоящего исследования является максимальное вовлечение отсевов от дробления щебня в производство бетонов нового поколения, в которых доля таких отходов различного фракционного состава может достигать 75 % вместо 45-50 % в бетонах старого поколения. При этом можно изготавливать суспензионные самоуплотняющиеся бетоны с прочностью более 100 МПа, в то время как бетоны старого поколения для достижения аналогичной прочности должны изготавливаться из сверхжестких бетонных смесей, подвергаемых интенсивному вибрационному уплотнению.

Самоуплотняющиеся бетоны, называемые за рубежом Self Compacting Concrete (SCC), являются вершиной достижения технологии бетонов. К сожалению, в России они не производятся, в то время как на Западе начинается интенсивный переход на высокопрочные самоуплотняющиеся бетоны нового поколения.

При дроблении горных пород на щебень образуется большое количество некондиционного сырья фракции от 0 до 5 мм (10-15 % и более от объемов добычи). В этом отсеве сосредоточена основная часть наполнителей и заполнителей для производства всех видов бетона нового поколения: порошкового, порошково-активированного, песчаного и щебеночного. Пылевидная и часть более грубой фракции могут использоваться для получения каменной муки, другие фракции – для получения тонкого и грубого дробленого песка. Варианты использования той или иной фракции определяются исходя из ситового анализа общей широкой фракции 0-5 мм. В настоящее время для получения каменной муки (КМ) применяется кварцевый песок вследствие его более широкой распространенности. Гранулометрия природных песков большинства регионов России для выделения из них необходимой фракции тонкого песка диаметром 0,16-0,63 мм и крупной фракции диаметром 0,63-5,0 мм очень ограничена. Более крупные отсева камнедробления открывают широкие возможности для их использования в регионах, имеющих горные выработки.

На кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» с 2003 г. разрабатываются реакционно-порошковые самоуплотняющиеся бетоны (СУБ) прочностью 110-120 МПа на традиционных портландцементе ЦЕМ I 42,5 и ЦЕМ I 52,5, а также на белом Датском цементе СЕМ 52,5R (марка 700) при расходах вяжущего 700-750 кг/м<sup>3</sup> с добавлением микрокремнезема в количестве 10 % от массы цемента. Для пластификации используется эффективный гиперпластификатор Melflux 5581F фирмы BASF (Германия). Высокие прочностные результаты были достигнуты только после того, как порошковые матрицы были полностью оптимизированы по содержанию цемента (Ц), пылевидного кварца (П<sub>М</sub>), микрокремнезема (МК) и тонкого песка (П<sub>Т</sub>) фракции 0,1-0,5÷0,16-0,63 мм. При этом оптимально подобранные составы по соотношению компонентов были: Ц:П<sub>М</sub>:П<sub>Т</sub>:МК=(0,9-1,1):(0,45-0,55):(1,4-1,5):(0,07-0,15). Водотвердое отношение В/Т составило 0,10-0,13 при дозировке гиперпластификатора в количестве 0,8 % от массы цемента. При таком соотношении компонентов объемная концентрация водно-дисперсной фазы составила  $C_{вд}^V = 60-64$  %. Реологическая активность суспензии, выраженная через относительную степень растекания  $\Gamma$ , рассчитывалась по формуле  $\Gamma = \left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1$ , где  $d$  – диаметр конуса, равный 100 мм;  $D$  – диаметр расплыва суспензии, см.

Расплыв конуса Хегерманна 28-36 см соответствует относительной степени растекания  $\Gamma$ , равной 6,8-12,0. Такая высокая реологическая способность цементно-минеральных суспензий [2, 3, 5] была достигнута не только за счет оптимально подобранных составов, но и благодаря возможности перезарядки отрицательно заряженной поверхности пылевидного кварца ионами кальция, образующимися при гидратации силикатов кальция цемента.

Анализировалась возможность замены в порошково-активированных суспензионных бетонах дорогостоящих пылевидного кварца и микрокремнезема отходами от дробления горных пород, т.е. каменной мукой (КМ), были изготовлены составы с соотношением

компонентов Ц:КМ:ПГ:КМ, равным 1:0,5:1,5:0,1, что соответствует оптимальному содержанию компонентов. В качестве тонкодисперсного минерального компонента в таких суспензиях были использованы широко распространенные тонкомолотые горные породы, такие, как гранит, доломит, высококальциевый известняк, диабаз, а также каменные породы Пензенской области – песчаники Коржевского (Никольский район) и Саловского (Пензенский район) карьеров и доломитизированный известняк Иссинского карьера (Иссинский район). Удельная поверхность всех тонкодисперсных компонентов составляла  $S_{уд}=5-9,5$  тыс.  $см^2/г$ .

Было изготовлено более 80 составов бетона с каменной мукой из молотых горных пород, из которых отобрано 16 наиболее оптимизированных составов (табл.1). На первом этапе в высокоскоростном миксере приготавливалась однородная тонкодисперсная суспензия с ГП Melflux 5581F в количестве 0,8 % от массы цемента. На втором этапе в суспензию добавлялся тонкий песок фр. 0,16-0,63 мм. Количество воды подбиралось таким образом, чтобы получить относительную степень растекания смеси, которая равна  $\Gamma=8-11$  и которой соответствовал расплыв конуса Хегерманна 30-34 см. Для сравнения была изготовлена бетонная смесь с использованием Липецкого микрокремнезема (см. табл. 1, РПБ-63). Расплыв конуса Хегерманна у контрольной суспензии составил 30 см ( $\Gamma=8$ ) при  $V/T=0,123$ ; объемное содержание водно-дисперсной фазы  $C_{вд}^V=62$  %; плотность бетонной смеси –  $2296$   $г/м^3$ .

Удовлетворительной реологической активностью обладал доломит, что позволило получить бетон с высокой плотностью и прочностью, превышающей 100 МПа, т.е. на уровне прочности бетона, изготовленного с использованием микрокварца. Как видно из табл. 1, реотехнологические показатели суспензии РПБ-65, полученной на основе Саловского кварцевого песчаника, оказались близкими реологическим показателям контрольной суспензии с кварцевой мукой. Это объясняется тем, что песчаники по происхождению состоят из сцементированных зёрен песка и имеют отрицательно заряженную поверхность, которая в присутствии катиона кальция  $Ca^{+2}$  перезаряжается на положительно заряженную, что способствует адсорбции на ее поверхности отрицательно заряженных карбоксильных функциональных групп поликарбоксилатных ГП. Благодаря этому на поверхности раздела фаз создается гидрофобный эффект для свободной воды. Стерический эффект противоположно разветвленных гидрофобных цепей молекулы усиливает ионоэлектростатический эффект для взаимного отталкивания частиц цемента или наполнителя. Суспензия из агрегативно-неустойчивой превращается в высококонцентрированную агрегативно-устойчивую даже при двукратном снижении расхода воды.

Использование глауконитового песчаника Коржевского месторождения для получения сопоставимой подвижности потребовало увеличения  $V/T$ -отношения до 0,154; такое увеличение содержания воды на 13,8 % по сравнению с контрольным составом вызвано высокой капиллярной пористостью этого песчаника (водопоглощение 7-12 %) и присутствием глауконита. Это существенно повлияло на снижение плотности бетонной смеси до  $2095$   $кг/м^3$ .

Бетонные смеси, полученные с использованием магматических горных пород гранита и диабаз, имели относительную степень растекания  $\Gamma=9,24$  и  $\Gamma=8,61$  при  $V/T$ -отношении 0,115 и 0,123 соответственно. Незначительное увеличение реотехнологических показателей у суспензии диабаз обусловлено мозаично заряженной структурой его поверхности, на которой образуются как положительно, так и отрицательно заряженные участки. Как было показано, водные пластифицированные суспензии гранита в присутствии малых добавок цемента или извести обладают высокой растекаемостью под действием ГП, сопоставимой с растекаемостью цементной суспензии.

Все реакционно-активные суспензионные тонкозернистые бетоны являются самоуплотняющимися, высокопрочными, с низким удельным расходом цемента на единицу прочности, не превышающем  $6,5$   $кг/МПа$  (см. табл. 1). Такие бетоны обладают высокой прочностью на сжатие – не ниже 100 МПа. Для их изготовления используется каменная мука из горных пород различного генетического происхождения с различным химико-минералогическим составом. Это открывает широкие возможности применения местных природных нерудных ископаемых различных регионов России, а также техногенных отходов от камнедробления на горнодобывающих карьерах, выпускающих лишь щебень для производства бетонов, асфальтобетонных смесей и устройства железнодорожного полотна. Дополнительно горно-обогатительные комбинаты могут выпускать каменную муку, тонкий дробленый песок фр. 0,1-0,5 мм или 0,16-0,63 мм и песок-заполнитель фр. 0,1 (0,16) мм.

Таблица 1

Реологические показатели реакционно-порошковых суспензионных бетонных смесей и прочностные показатели бетонов нового поколения

№ п/п	Обозначение состава	Вид цемента, расход на 1 м <sup>3</sup> , кг	Вид каменной муки	$\frac{KM}{\text{Ц}}$	$\frac{\text{П.Т.}}{\text{Ц}}$	$\frac{MK}{\text{Ц}}$	В/Т	В/Ц	$I_{\text{БД}}^{\text{П.Т}}$	$R_{KX}$ , см	$\Gamma$	$C_{\text{БД}}^V$ , %	$\rho_{\text{пл.}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{\text{сж}}^{28}$ , МПа	$\rho_{R_c}^{\text{пл.}}$ , кг/МПа
1	РПБ-2	ЦД, 655	Известняк (Исса)	0,5	1,5	0,1; МК	0,116	0,361	1,629	30	8,0	61,7	2302	110,5	5,93
2	РПБ-7	ЦД, 670	Доломит (Воронеж)	0,5	1,5	0,1; МК	0,117	0,363	1,636	34	10,6	61,8	2335	105,4	6,36
3	РПБ-19	ЦД, 680	Доломит (Воронеж)	0,5	1,5	0,1; МК	0,106	0,328	1,516	31,5	8,9	60,1	2324	110,5	6,15
4	РПБ-23	ЦД, 683	Доломит (Воронеж)	0,5	1,5	0,1; МК	0,099	0,308	1,520	29	7,4	60,3	2328	113,1	6,04
5	РПБ-43	ЦК, 670	Доломит (Воронеж)	0,5	1,5	0,1; МК	0,106	0,328	1,583	28	6,8	60,9	2304	105,9	6,33
6	РПБ-44	ЦК, 678	Доломит (Воронеж)	0,5	1,5	0,1; МК	0,106	0,328	1,574	27	6,3	60,9	2307	109,7	6,18
7	РПБ-51	ЦД, 681	Пылевидный кварц	0,5	1,5	0,1; БК	0,124	0,386	1,660	35,5	11,6	62,4	2289	103,7	6,42
8	РПБ-53	ЦД, 681	Пылевидный кварц	0,5	1,5	0,1; БК	0,124	0,386	1,659	35,5	11,6	62,4	2333	113,9	5,88
9	РПБ-57	ЦД, 592	Песчаник (Никольск)	0,5	1,5	0,1; МК	0,154	0,479	1,823	30	8,0	64,3	2095	85,0	6,96
10	РПБ-63	ЦД, 664	Пылевидный кварц	0,5	1,5	0,1; МК	0,123	0,383	1,652	30	8,0	62,3	2296	113,9	5,83
11	РПБ-64	ЦД, 669	Известняк (Тольятти)	0,5	1,5	0,1; МК	0,123	0,383	1,66	32	9,2	62,1	2318	115,6	5,79
12	РПБ-65	ЦД, 657	Песчаник (Саловка)	0,5	1,5	0,1; МК	0,123	0,383	1,654	30	8,0	62,0	2234	103,7	6,34
13	РПБ-66	ЦД, 660	Диабаз	0,5	1,5	0,1; МК	0,123	0,383	1,625	31	8,6	61,6	2305	107,1	6,16
14	РПБ-73	ЦЦ, 664	Пылевидный кварц	0,5	1,5	0,1; БК	0,128	0,397	1,678	32	9,2	62,7	2253	105,4	6,32
15	РПБ-80	ЦЦ, 690	Гранит	0,5	1,5	0,1; МК	0,115	0,347	1,590	32	9,2	61,4	2302	108,8	6,33
16	РПБ-81	ЦЦ, 697	Известняк (Тольятти)	0,5	1,5	–	0,115	0,347	1,509	33	9,9	60,2	2331	112,2	6,21

Примечание:

ЦД – цемент белый СЕМ I 52,5 (Дания); ЦЦ – цемент белый ПЦ500 ДО ОАО «Щуровский цемент»; ЦК – цемент ПЦ500 ДО (г. Красноярск);

МК – микрокремнезем марки МК-85; БК – биокремнезем (термоактивированный диатомит) ГК «DIAMIX».

Представленные суспензионные реакционно-порошковые бетонные смеси являются реологической матрицей для другого класса порошково-активированных песчаных и щебеночных бетонов нового поколения в соответствии с нашей классификацией. Такие бетоны ранее изготавливались с использованием кварцевой муки, кварцевого песка и микрокремнезема. В наших экспериментах все эти компоненты были полностью заменены специально подготовленными компонентами из отсевов камнедробления гранита. Для определения реотехнологических свойств порошково-активированных мелкозернистых бетонных смесей, предназначенных для изготовления архитектурно-декоративных бетонов, была использована в первом случае суспензионная матрица на основе тонкодисперсного гранита, во втором – на основе мрамора. В качестве тонкозернистого компонента применялся тонкий гранитный песок фр. 0,16-0,63 мм, а в качестве песка-заполнителя – отсевы дробления гранита фр. 0,63-2,5 мм (табл. 2 и 3).

Т а б л и ц а 2

Порошково-активированный песчаный бетон  
на гранитном наполнителе и заполнителе (ПАБ-101)

Наименование компонентов	На 1 м <sup>3</sup> , кг	Объем на 1 м <sup>3</sup> , л	В/Ц, В/Т	$\frac{\Gamma_M}{\text{Ц}}$	$\frac{\Gamma_T}{\text{Ц}}$	$\frac{\Gamma_3}{\text{Ц}}$	Прочность МПа, через, сут		
							1	7	28
Портландцемент Щуровский белый СЕМ 52,5	623	201	0,379	0,47	1,05	0,70	$R_{сж}=22$	$R_{сж}=93$	$R_{сж}=107$
ГП Melflux 5581F 1,0 % от Ц	6,2	5,6					$\frac{\Sigma \Gamma}{\text{Ц}} = 2,22$	$R_{из}=4,8$	$R_{из}=14,1$
Гранит молотый ( $\Gamma_M$ ), $S_{уд} = 3700 \text{ см}^2/\text{г}$	294	109	0,117	$I_{ВД}^{\Gamma_T} = 2,26$	$I_{ЦДП}^{\Gamma_3} = 4,89$	$\text{Ц}_{R_c}^{уд} = 5,82 \text{ кг/МПа}$	$R_{ц}^{уд} = 0,17 \text{ МПа/кг}$		
Песок тонкий гранитный ( $\Gamma_T$ ), фр. 0,16-0,63 мм	653	242							
Песок крупный гранитный ( $\Gamma_3$ ), фр. 0,63÷2,5 мм	436	161							
$\Sigma M_{сух.}$	2012	—		$\Sigma M_D=917$	$\Sigma M_{DT}=1570$	$\Sigma V_{ВД}=546$	$\Sigma V_{ВДТ}=788$	$C_{ВД}^V = 57,5 \%$	$C_{ВДТ}^V = 82,9 \%$
$\Sigma V_{сух.}$	—	713							
Вода	236	236		$C_D^M = 45,6 \%$	$C_{DT}^M = 78,0 \%$				
$M_{б.с.}$	2248	—							
$V_{б.с.}$	—	950		$\rho = 2296 \text{ кг/м}^3$					Расплыв конуса Хегерманна 34 см, ОК=28 см

При этом объемная концентрация водно-дисперсной суспензии в первом составе была  $C_{ВД}^V = 57,5 \%$ , а объемная концентрация водно-дисперсно-тонкозернистой суспензии –  $C_{ВДТ}^V = 82,9 \%$ . Полученная бетонная смесь является на 83 % суспензионной, что отличает ее от песчаных бетонных смесей старого поколения. Это позволило существенно снизить объем крупного песка-заполнителя до 17 % от общего объема бетонной смеси. Высокие концентрации тонкозернистого песка не тормозят гравитационное растекание смесей под действием ГП Melflux 5581F и позволяют получить самоуплотняющиеся бетонные смеси с распливом конуса Хегерманна 34-35 см (расплив стандартного конуса 85,0 см) и бетон на их основе с прочностью более 100 МПа. Полученные значения растекаемости СУБ соответствуют самой высокой растекаемости смесей (SF3) согласно классификации Specification and Guidelines for SCC,

разработанной техническим комитетом 205-DSC «Долговечность самоуплотняющегося бетона» [6].

Замена гранитной муки мраморной при неизменных содержаниях других компонентов не повлияла на изменение реотехнологических показателей бетонной смеси и прочностных свойств бетона. Эти эксперименты показывали, что отсеvy камнедробления являются хорошей сырьевой базой для изготовления трех компонентов песчаных бетонов.

Т а б л и ц а 3

Порошково-активированный песчаный бетон на молотом мраморе и гранитном наполнителе и заполнителе (ПАБ-104)

Наименование компонентов	На 1 м <sup>3</sup> , кг	Объем на 1 м <sup>3</sup> , л	В/Ц, В/Т	M <sub>м</sub> /Ц	Г <sub>т</sub> /Ц	Г <sub>з</sub> /Ц	Прочность МПа, через, сут		
							1	7	28
Портландцемент Щуровский белый СЕМ 52,5	643	207	0,314	0,52	1,05	0,70	R <sub>сж</sub> =64	R <sub>сж</sub> =94	R <sub>сж</sub> =105
ГП Melflux 5581F 1,0 % от Ц	6,4	5,8		$\frac{\Sigma \Pi}{\text{Ц}} = 2,27$			R <sub>из</sub> =9,4	R <sub>из</sub> =11,3	R <sub>из</sub> =17,7
Мрамор молотый (M <sub>м</sub> ), S <sub>уд</sub> = 8400 см <sup>2</sup> /г	335	124	0,096	I <sub>вд</sub> <sup>Гт</sup> = 2,13			Ц <sub>Рс</sub> <sup>уд</sup> = 6,1 кг/МПа		
Песок тонкий гранитный (Г <sub>т</sub> ), фр. 0,16-0,63 мм	675	250		I <sub>цдп</sub> <sup>Гз</sup> = 4,69			R <sub>ц</sub> <sup>уд</sup> = 0,16 МПа/кг		
Песок крупный гранитный (Г <sub>з</sub> ), фр. 0,63÷2,5 мм	450	167		$\Sigma M_{д} = 978$ $\Sigma M_{дГ} = 1653$ C <sub>д</sub> <sup>М</sup> = 46,4 % C <sub>дГ</sub> <sup>М</sup> = 78,3 %			$\Sigma V_{вд} = 533$ $\Sigma V_{вдГ} = 783$ C <sub>вд</sub> <sup>В</sup> = 56,1 % C <sub>вдГ</sub> <sup>В</sup> = 82,4 %		
$\Sigma M_{сух.}$	2110	—							
$\Sigma V_{сух.}$	—	748							
Вода	202	202							
M <sub>б.с.</sub>	2312	—							
V <sub>б.с.</sub>	—	950							
				$\rho = 2303$ кг/м <sup>3</sup>			Расплыв конуса Хегерманна 36 см, ОК=29 см		

В последние годы начинают интенсивно развиваться технологии сверхвысокопрочных текстиль-бетонов (Textile-reinforced Concrete), изготовление которых было впервые начато в 2006 г. в Германии. Для их производства используются различные виды синтетического текстиля: хаотично переплетенная нетканая материя из синтетических волокон диаметром 8-15 мкм или сетки многоосных текстильных нитей [4] диаметром до 1 мм и более.

Таким образом, большинство горных пород в тонкоизмельченном виде в смеси с цементом обладают высокой реологической активностью и образуют водно-дисперсно-тонкозернистую суспензию, являющуюся реологической основой для самоуплотняющихся бетонов. Реакционно-порошковые бетоны полностью состоят из такой суспензии. Ее содержание в порошково-активированных песчаных бетонах, достигающее 60-62 % от общего объема бетонной смеси, кардинально меняет топологию структуру полученных бетонов.

Бетонные смеси нового поколения, полученные с использованием большинства тонкодисперсных (S<sub>уд</sub> = 3500-8400 см<sup>2</sup>/г) и фракционированных (фр. 0,16-0,63 мм и 0,63-2,5 мм) горных пород, имеют расплыв стандартного конуса до 85,0 см, соответствующий марке SF3 для самоуплотняющихся бетонных смесей согласно Specification

and Guidelines for Self Compacting Concrete, в то время как в российских нормах отсутствуют требования по удобоукладываемости для таких бетонов.

Замена пылевидного кварца тонкомолотыми горными породами при производстве самоуплотняющихся бетонов нового поколения не приводит к снижению прочности (104 МПа и более).

#### Список литературы

1. Буткевич, Г.Р. Проблемы вовлечения отходов горнодобывающего производства в хозяйственную деятельность / Г.Р. Буткевич // Строительные материалы. – 2013. – №7. – С. 62–68.
2. Калашников, В.И. Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей / В.И. Калашников [и др.]// Инженерно-строительный журнал. – 2012. – №8(34). – С. 47–53.
3. Калашников, В.И. Бетоны нового и старого поколений. Состояние и перспектива / В.И. Калашников // Наука: 21 век. – 2012. – №1. – С.60–74.
4. Мещерин, В.Н. Новые бетоны для нового строительства, усиления и ремонта / В.Н. Мещерин // Бетон и железобетон. – 2013. – №1(8). – С. 32–39.
5. Хозин, В.Г. Высокопрочные цементные бетоны для дорожного строительства / В.Г. Хозин, Н.М. Морозов, И.В. Боровских, С.В. Степанов // Строительные материалы. – 2009. – №11. – С. 15–17.
6. Specification and guidelines for self-compacting concrete. – EFNARC, 2002. – 37 p.

#### References

1. Boutkevitch, G.R. Problems involving waste mining production in economic activity / G.R. Boutkevitch // Building Materials. – 2013. – №7. – P. 62–68.
2. Kalashnikov, V.I. New generation based on fine-grained dry-powder mixtures / V.I. Kalashnikov [etc.] // Civil Engineering magazine. – 2012. – №8(34). – P. 47–53.
3. Kalashnikov, V.I. Concrete new and old generations. State and prospects / V.I. Kalashnikov // Science: 21. – 2012. – №1. – P.60–74.
4. Meshcherin, V.N. New concrete for new construction, strengthening and repair / V.N. Meshcherin // Concrete and reinforced concrete. – 2013. – №1(8). – P. 32–39.
5. Khozin, V.G. high-performance concrete for road construction / V.G. Khozin, N.M. Morozov, I.V. Borovskikh, S.V. Stepanov // Building Materials. – 2009. – №11. – P. 15–17.
6. Specification and guidelines for self-compacting concrete. – EFNARC, 2002. – 37 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Логанина Валентина Ивановна**,  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Управление качеством и  
технология строительного производства»  
E-mail: loganin@mai.ru

**Кислицына Светлана Николаевна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технологии строительных  
материалов и деревообработки»  
E-mail: kisl752@mail.ru

**Садовникова Мария Анатольевна**,  
аспирант кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: adikaevka\_01@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Loganina Valentina Ivanovna**,  
Doctor of Sciences, Professor, Head of the  
department «Quality management and  
construction technologies»  
E-mail: loganin@mai.ru

**Kislitsina Svetlana Nikolaevna**,  
Candidate of Sciences, Docent of the  
department «Technologies of building  
materials and wood»  
E-mail: kisl752@mail.ru

**Sadovnikova Mariya Anatolevna**,  
Postgraduate of the department «Quality  
management and construction technologies»  
E-mail: adikaevka\_01@mail.ru

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННОЙ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ\*

В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.А. Садовникова

Приведены закономерности структурообразования известковых композиций с добавками синтезированных алюмосиликатов. Показано, что введение добавок алюмосиликатов способствует ускорению набора прочности.

*Ключевые слова: алюмосиликаты, синтез, структурообразование, прочность*

## STRUCTURE AND PROPERTIES OF SYNTHESIZED ALUMINOSILICATE ADDITIVE FOR DRY CONSTRUCTION MIXTURES

V.I. Loganina, S.N. Kislitsina, M.A. Sadovnikova

Regularities of lime compositions structures with synthesized aluminosilicate additives are represented. It is shown that adding of aluminosilicates accelerates curing.

*Keywords: aluminum silicates, synthesis, structure, strength*

Для регулирования структуры и свойств строительных композитов в их рецептуру вводят различные модифицирующие добавки [1–2]. Ранее проведенные исследования подтверждают целесообразность применения нанодисперсных добавок – синтезированных гидросиликатов кальция (ГСК), золя кремниевой кислоты, органоминеральных добавок в рецептуре сухих строительных смесей для обеспечения повышения стойкости покрытия [3–5].

В целях расширения номенклатуры добавок для создания известковых композиционных вяжущих в дальнейшем нами проведены исследования по разработке технологии синтеза алюмосиликатных добавок [6]. Синтез алюмосиликатов заключался в их осаждении из раствора сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  добавлением силиката натрия.

\* Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части.

Химический состав синтезируемой добавки приведен в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Результаты химического анализа всех элементов, присутствующих в синтезированной добавке, %

Содержание химических элементов в весовых %	O	Na	Al	Si	S
Максимальное	61,58	16,52	8,05	39,60	8,94
Минимальное	46,67	5,54	1,88	20,78	0,89

При анализе полученных данных (см. табл.1) выявлено высокое содержание химических элементов O, Si и Na, составляющее соответственно 46,47-61,58 %, 20,78-39,60 % и 5,54-16,52 %, что свидетельствует о преобладании оксидов перечисленных элементов.

Методом рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что при введении в раствор сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  жидкого стекла образуются минералы группы цеолитов: натролит  $Na_2(Al_2Si_3O_{10})H_2O$ , анальцит  $Na[AlSi_2O_6]H_2O$ . Содержание группы цеолитов свидетельствует о водоудерживающих свойствах синтезированной добавки [7].

Микроструктура полученной добавки была изучена с помощью электронного микроскопа при увеличении в 20 000 раз (рис.1).

Установлено, что структура добавки представлена, в основном, частицами, размер которых составляет 2,25-8,1нм. Удельная поверхность частиц, измеренная методом БЭТ, составляет  $S_{уд}=86,5\pm 3,5$  м<sup>2</sup>/г.

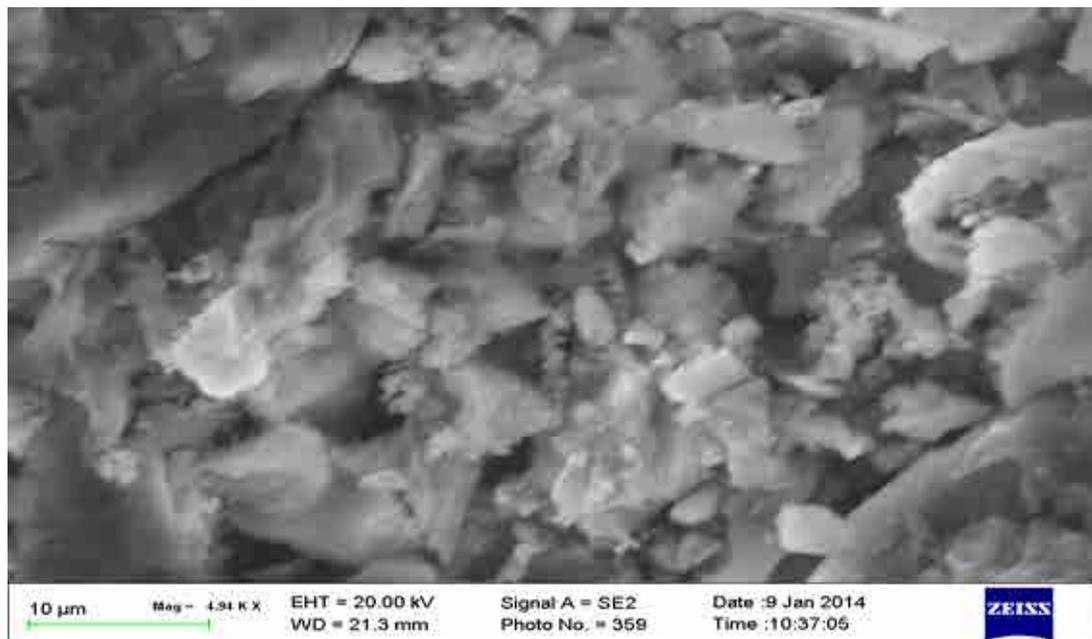


Рис. 1. Микроструктура синтезированных алюмосиликатов x20000

При разработке технологии синтеза алюмосиликатной добавки исследовалось влияние pH смеси растворов сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  и жидкого стекла на активность синтезируемой добавки, определяемой по методике [8]. Синтез алюмосиликатов проводился по следующим режимам:

1 – введение в раствор сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  с pH=3 жидкого стекла до pH смеси pH=4,83 и последующее высушивание осадка при температуре 100°C;

2 – введение в раствор сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  с pH=3 жидкого стекла до pH смеси pH=6,31 и последующее высушивание осадка при температуре 100°C;

3 – введение в раствор сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  с рН=3 жидкого стекла до рН смеси рН=9,26 и последующее высушивание осадка при температуре 100°C;

4 – введение в раствор сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  с рН=3 жидкого стекла до рН смеси рН=10,5 и последующее высушивание осадка при температуре 100°C.

Результаты исследований приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Влияние режима синтеза на активность синтезированных алюмосиликатов

Режим синтеза	рН смеси	рН добавки	Растворимость М, %	Активность А, мг/г
1	4,83	10,01	89,03	>350
2	6,31	10,24	74,36	>350
3	9,26	10,48	74,16	>350
4	10,5	10,5	67,63	>350

Синтезированные алюмосиликаты характеризуются высокой активностью, составляющей более 350 мг/г. Растворимость добавки, приготовленной по первому режиму, равна  $M=89,03$  %, а добавки, приготовленной по четвертому режиму  $M=67,63$  %.

Активность алюмосиликатов оценивалась также по показателю прочности при сжатии известковых композиций в зависимости от режима их синтеза.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что применение синтезированных алюмосиликатов приводит к повышению прочности при сжатии известковых образцов в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения по сравнению с контрольными образцами на 14,375–33,125 %. Наибольшее повышение прочности, составляющее 33,125 %, наблюдается при введение добавки, синтезируемой по первому режиму.

Синтезированная добавка применялась для разработки рецептуры известковой сухой строительной смеси. Для проведения исследования был изготовлен состав с водоизвестковым соотношением В/И=1, содержание добавки составляло 10 % от массы извести. В работе применяли известь активностью 84 %. Для регулирования реологических и технологических свойств растворной смеси в рецептуру добавляли пластификатор Кратасол-ПФМ в количестве 1 % от массы вяжущего и диспергируемый порошок Neolit P-4400 в количестве 0,5 % от массы вяжущего. Установлено, что добавки способствуют увеличению прочности при сжатии, повышению удобоукладываемости, однородности, нерасслаиваемости и более длительному сохранению подвижности. Жизнеспособность состава с алюмосиликатной добавкой составляет 2 часа. Время высыхания определяли в соответствии с методикой [8]. Установлено, что время высыхания до степени 3 составляет 5 минут, а до степени 7 — 15 минут. При введении пигмента в состав смеси покрытия характеризуются разнообразием цвета, декоративной выразительностью.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили эффективность применения в известковых отделочных составах синтезируемых алюмосиликатов.

### Список литературы

1. Vejmelková, E. Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime–metakaolin plasters for renovation of historical buildings / E. Vejmelková, M. Keppert, Z. Keršner, P. Rovnaníková, R. Černý // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 31. – P. 22–28.
2. Sevim, İ. Investigation of rheological and colloidal properties of bentonitic clay dispersion in the presence of a cationic surfactant / Sevim İ. Seniha Güner, Ö. Işık Ece, Nurfer Güngör. // Progress in Organic Coatings. – 2005. – Vol. 54. Iss. 1. – P. 28–33.
3. Логанина, В.И. Исследование закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 63.

4. Логанина, В.И. Влияние технологии синтеза силикатных наполнителей на свойства известковых отделочных составов / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Папшева // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 66–69.
5. Логанина, В.И. Перспективы изготовления органоминеральной добавки на основе отечественного сырья / В.И. Логанина, Н.А. Петухова, В.Н. Горбунов, Т.Н. Дмитриева // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 9. – С. 36–39.
6. Логанина, В.И. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Л.В. Макарова, М.А. Садовникова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 4. – С. 37–42.
7. Дружинкин С.В. Сухие строительные смеси на основе цеолитсодержащих пород: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 26.04.10 / С.В. Дружинкин. – Красноярск, 2010. – 169 с.
8. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986.
9. ГОСТ19007-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания. – М.: Изд-во стандартов, 1973.

### References

1. Vejmelková, E. Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime–metakaolin plasters for renovation of historical buildings / E. Vejmelková, M. Keppert, Z. Keršner, P. Rovnaníková, R. Černý // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 31. – P. 22–28.
2. Sevim, İşçi. Investigation of rheological and colloidal properties of bentonitic clay dispersion in the presence of a cationic surfactant / Sevim İşçi, F. Seniha Güner, Ö. Işık Ece, Nurfer Güngör. // Progress in Organic Coatings. – 2005. – Vol. 54. Iss. 1. – P. 28–33.
3. Loganina, V.I. Study patterns of influence of silica sol on structure and properties of diatomite / V.I. Loganina, O.A. Davydov, E.E. Simonov // Building Materials. – 2011. – № 12. – P. 63.
4. Loganina, V.I. Influence of the synthesis technology of silicate fillers properties lime finishing compositions / V.I. Loganina, L.V. Makarova, K.A. Papsheva // Regional architecture and engineering. – 2011. – № 2. – P. 66–69.
5. Loganina, V.I. Prospects for the manufacture of organic- based additives domestic raw materials / V.I. Loganina, N.A. Petukhov, V.N. Gorbunov, T.N. Dmitrieva // News of higher educational institutions. Building. – 2009. – №9. – P. 36–39.
6. Druzhinkin, S.V. Dry mixes based on zeolite minerals: Dis .... kand. tehn. Sciences: 05.23.05 : 26.04.10 – protected / S.V. Druzhinkin. – Krasnoyarsk, 2010. – P. 169.
7. Loganina. V.I. The rheological properties of the composite binder using lime synthetic zeolites / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, L.V. Makarov, M.A. Sadovnikov // News of higher educational institutions. Building. – 2013. – № 4. – P. 37–42.
8. Volzhensky, A.V. Mineral binders / A.V. Volzhensky. – M. Stroyizdat, 1986.
9. All-Union State Standard 19007-73 Lucky kraski.Metod and determine the time and extent of drying. – M.: Standards Press, 1973.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Логанина Валентина Ивановна**,  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Управление качеством и  
технология строительного производства»  
E-mail: loganin@mai.ru

**Акжигитова Эльвира Ринатовна**,  
специалист по учебно-методической  
работе деканата технологического  
факультета  
E-mail: marat999192@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Loganina Valentina Ivanovna**,  
Doctor of Sciences, Professor, Head of the  
department «Quality management and  
construction technologies»  
E-mail: loganin@mai.ru

**Akzhigitova Elvira Rinatovna**,  
Specialist in educational and methodical work  
of dean's office of Technology Faculty  
E-mail: marat999192@mail.ru

## ОРГАНОМИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА НА ОСНОВЕ СМЕШАНОСЛОЙНЫХ ГЛИН ПОВОЛЖЬЯ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

В.И. Логанина, Э.Р. Акжигитова

Приведено описание технологии синтеза органоминеральной добавки для сухих строительных смесей на основе смешанослойных глин Поволжья. Указаны значения адсорбции ПАВ на поверхности глинистых материалов. Обоснована эффективность применения органоминеральной добавки в сухих строительных смесях при оценке устойчивости к сползанию с вертикальной поверхности отделочного слоя.

*Ключевые слова: сухие строительные смеси, смешанослойная глина, поверхностно-активные вещества, адсорбция, органоминеральная добавка, устойчивость к сползанию*

## ORGANIC-MINERAL ADDITIVE ON THE BASIS OF MIXED CLAYS OF THE VOLGA REGION FOR DRY CONSTRUCTION MIXTURES

V.I. Loganina, E.R. Akzhigitova

In the article data on technology of synthesis of an organic-mineral additive for dry construction mixtures on the basis of mixed-clays of the Volga region are given. Values of adsorption of surface-active substances in a surface of clay materials are given. Efficiency of application of an organic-mineral additive in dry construction mixtures at an assessment of stability to slipping from a vertical surface of a finishing layer is shown.

*Keywords: dry construction mixtures, mixed-clays, surface-active substances, adsorption, organic-mineral additive, resistance to slipping*

Одним из наиболее перспективных направлений остается создание многофункциональных добавок для производства сухих строительных смесей (ССС). Вводимые в небольших количествах, они активно влияют на процессы образования структуры затвердевшего вяжущего. Среди таких добавок можно выделить тиксотропные, которые вводятся в рецептуру отделочных составов для регулирования их реологических и технологических свойств.

Большая часть тиксотропных добавок поставляется из-за рубежа (бентоны), что неизбежно ведет к удорожанию продукции, делает ее зависимой от зарубежных поставок составляющих. В связи с этим использование в производстве СССР добавок на основе местного сырья является важной народнохозяйственной задачей, решение которой позволит значительно расширить рынок сырья, повысить качество отечественных СССР и избавиться от зависимости поставок импортных добавок.

В качестве тиксотропной добавки предлагается органоминеральная добавка, получаемая на основе смешанослойных глин Поволжья путем адсорбции на поверхности глины поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1, 2].

При разработке органоминеральной добавки исследовались глины Камешкирского и Воробьевского месторождений [3].

В табл.1 представлены результаты определения гранулометрического состава исследуемых глин по методу Б. И. Рутковского.

Т а б л и ц а 1

## Гранулометрический состав глин

Месторождение глины	Содержание фракции, %		
	песчаной	пылевой	глинистой
Воробьевское	12-17	29-38	42-60
Камешкирское	45-51	32-40	14-19

В зерновых составах исследуемых глин содержание песчаных частиц составляет до 51 % (см. табл. 1). Как известно, кварцевый песок является слабым адсорбентом, поэтому для дальнейших экспериментов целесообразно было отделение глины от песка с помощью просева через сито № 0,1. В табл. 2 приведены значения удельной поверхности и средние диаметры частиц глин после освобождения от песка.

Т а б л и ц а 2

## Показатели дисперсности глин

Месторождение глины	Значение удельной поверхности, $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	Средний диаметр частиц, мкм
Воробьевское	1264	1,86
Камешкирское	1200	1,96

Химический состав глин представлен в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

## Химический состав глин

Химическое соединение	Содержание химических соединений в зависимости от месторождения глины, (%)	
	Камешкирское	Воробьевское
SiO <sub>2</sub>	75,41	72,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,04	11,57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,61	7,39
Прочие	6,94	7,72

Для сравнения с бетонами были проведены исследования обменной емкости смешанослойных глин. Результаты экспериментов приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

## Емкость катионного поглощения исследуемых глин

Месторождение глины	Значение емкости катионного поглощения, E, мг·экв
Воробьевское	11,79
Камешкирское	42,50

Анализ глин по емкости катионного поглощения позволяет утверждать, что по минералогическому составу глина Воробьевского месторождения относится к каолиновому типу глин, а Камешкирского – к монтмориллонитовому.

В качестве органического компонента применялись добавки ОП-7 и ОП-10. Концентрацию ПАВ устанавливали по изменению поверхностного натяжения раствора добавки, которое определяли капельным методом и вычисляли по формуле

$$\sigma_{\text{р-ра}} = \sigma_{\text{в}} \frac{n_{\text{в}}}{n}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{в}}$  – поверхностное натяжение воды, Дж/м<sup>2</sup>;  $n_{\text{в}}$  – количество капель воды в 1 мл;  $n$  – количество капель раствора в 1 мл.

Количество адсорбированного вещества определялось по изменению поверхностного натяжения водного раствора пластификатора  $\sigma_{\text{р-ра}}$  вследствие снижения концентрации адсорбтива при добавлении в раствор глины. По изменению поверхностного натяжения устанавливалась оптимальная концентрация пластификатора, при котором  $\sigma_{\text{р-ра}} = \text{const}$ .

Для описания статического обмена было использовано уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра [4]:

$$a = \frac{a_{\infty} b C_{\text{р}}}{1 + b C_{\text{р}}}, \quad (2)$$

где  $a$  – величина адсорбции ионов, кг/м<sup>2</sup>;  $a_{\infty}$  – максимальная адсорбция, соответствующая полному покрытию поверхности минерала, кг/м<sup>2</sup>;  $b$  – константа, характеризующая адсорбируемость ПАВ,  $\frac{1}{\%}$ ;  $C_{\text{р}}$  – равновесная концентрация в растворе, %.

Результаты исследований приведены на рис. 1 и 2.

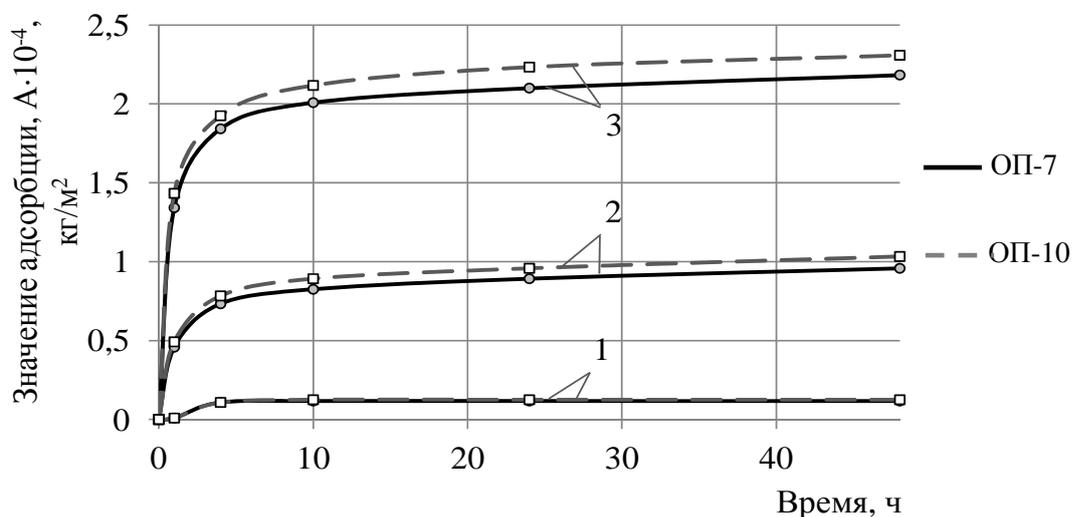


Рис. 1. Кинетика адсорбции на воробьевской глине ПАВ концентрации:  
1 – 0,02 %; 2 – 0,20 %; 3 – 0,50 %

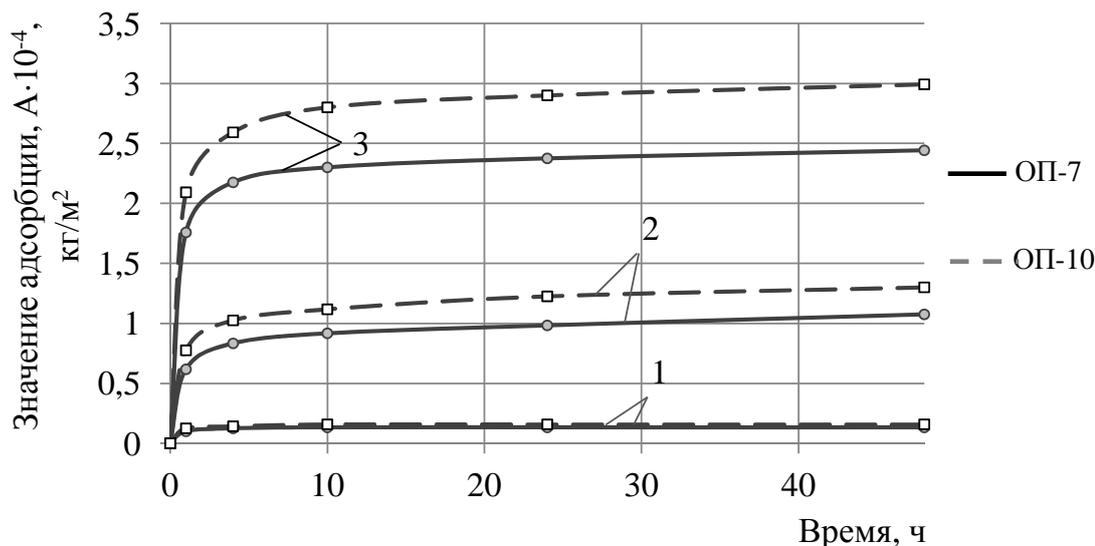


Рис. 2. Кинетика адсорбции на камешкирской глине ПАВ концентрации :  
1 – 0,02 %; 2 – 0,20 %; 3 – 0,50 %

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением концентрации добавок наблюдается повышение адсорбции (см. рис. 1, 2). Установлено, что полная адсорбция ОП-7 и ОП-10 на исследуемых глинах наступает через 10 часов при 0,02 %-й концентрации растворов и через 48 часов – при 0,20 и 0,50 %-й концентрации.

Результаты экспериментальных данных (рис. 3, 4) свидетельствуют о том, что добавка ОП-10 по сравнению с добавкой ОП-7 обладает большей адсорбционной способностью. Так, значения адсорбции при концентрации растворов ОП-7 и ОП-10, равной 0,50 %, составили для воробьевской глины соответственно  $A = 2,183 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^2$  и  $A = 2,308 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^2$ , для камешкирской глины –  $A = 2,442 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^2$  и  $A = 2,992 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^2$ .

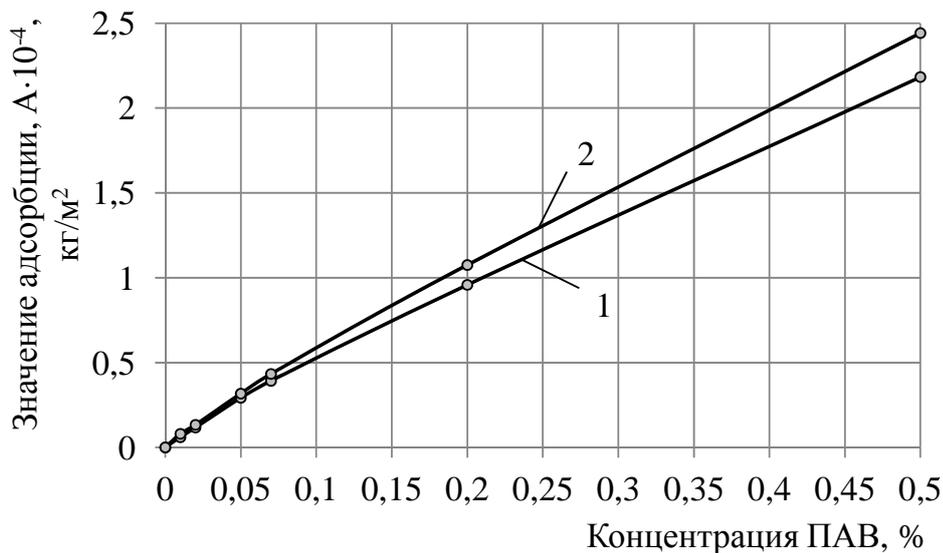


Рис.3. Кинетика адсорбции ОП-7 на глинах месторождения:  
1 – Воробьевское; 2 – Камешкирское

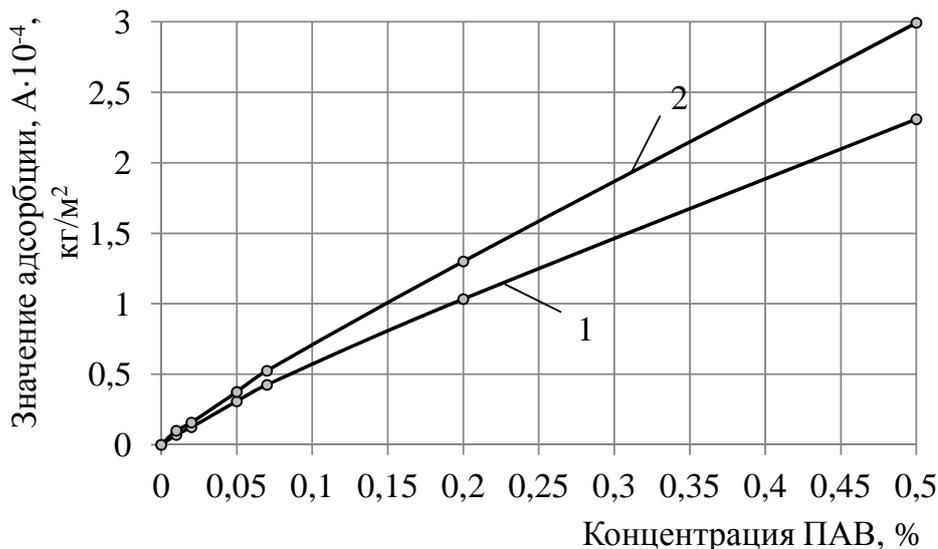


Рис. 4. Кинетика адсорбции ОП-10 на глинах месторождения:  
1 – Воробьевское; 2 – Камешкирское

Характер изотерм адсорбции ПАВ на глинах обусловлен высокой прочностью связи ионов катиона с поверхностью глин (см. рис. 3, 4). Для вытеснения их с поверхности необходима повышенная концентрация в растворе ионов ПАВ.

Из полученных прямых (см. рис. 3, 4) графическим способом находили константу  $b$  уравнения Ленгмюра. Для этого строили графики в координатах  $C_p / a - C_p$ . Результаты эксперимента приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Константы уравнения Ленгмюра, характеризующие адсорбцию ПАВ  
на смешанослойных глинах

Месторождение глины	Значение адсорбции при максимальной концентрации ПАВ, $a_{\infty} \cdot 10^{-4}$ , кг/м <sup>2</sup>		Значение константы адсорбционного равновесия, $b$ , 1/ %	
	ОП-7	ОП-10	ОП-7	ОП-10
Воробьевское	2,183	2,308	0,3713	0,4266
Камешкирское	2,442	2,992	0,4603	0,6941

Результаты исследования адсорбирующей способности глин (см. рис. 1–4) свидетельствуют, что камешкирская глина по сравнению с воробьевской обладает более высокими адсорбирующими свойствами. Вероятно, это связано с минеральными составами глин, хотя все они и относятся к смешанослойным глинам, все же в камешкирской глине преобладание имеет монтмориллонитовая составляющая.

Эффективность разработанной органоминеральной добавки как тиксотропной оценивалась по показателю сползания растворов смесей после их нанесения на вертикальные поверхности. С этой целью исследуемый раствор наносился на бетонную поверхность площадью 10×20 см с толщиной слоя от 5 до 20 мм и выдерживался в вертикальном положении в течение 5 мин, по истечении которого оценивалась устойчивость к сползанию. Образцы растворов готовились на основе ухтинского песка Поволжского региона при соотношении известь:песок = 1 : 4 без добавки (контрольный состав) и с добавлением органоминеральной добавки в количестве 1 % от массы извести. Водоизвестковое соотношение составляло В/И = 1,4. В качестве вяжущего использовалась известь-пушонка 1-го сорта с активностью 64–67 %.

Установлено, что контрольный состав характеризуется низкой устойчивостью к сползанию [5]. Отделочный слой на основе такого состава обладает устойчивостью к сползанию лишь до толщины 5 мм, в то время как состав с органоминеральной добавкой сохраняет устойчивость к сползанию до толщины слоя 15 мм.

Дополнительно оценивалось смещение относительно жестко закрепленной линейки верхних слоев отделочного слоя, нанесенного толщиной 12 мм на бетонную поверхность. Экспериментальные данные показали, что смещение отделочного слоя на основе контрольного раствора составило 1 мм, на основе состава с органоглиной в количестве 1 % от массы извести – 0,3 мм, а при содержании органоглины 3 % и выше – смещения не наблюдается.

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать при производстве ССС органоминеральные добавки на основе местных материалов, что позволит расширить сырьевую базу и снизить экономические затраты. Предлагается в качестве органоминеральной добавки использовать камешкирскую глину после модификации его добавкой ОП-10 или ОП-7. При этом на получение 1 кг органоминеральной добавки потребуется ОП-10 в количестве 45 г или ОП-7 в количестве 38 г.

#### Список литературы

1. Логанина, В.И. Перспективы изготовления органоминеральной добавки на основе отечественного сырья / В.И. Логанина, Н.А. Петухова, В.Н. Горбунов, Т.Н. Дмитриева // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 9. – С. 36–39.
2. Логанина, В. И. Оценка эффективности применения смешанослойных глин в рецептуре известковых отделочных составов / В. И. Логанина, Э. Р. Акжигитова // Вестник ВолгГАСУ. – 2013. – № 30(49). – С. 169–173.
3. Садыков, Р.К. Минерально-производственный комплекс Пензенской области / Р.К. Садыков, П.П. Сенаторов, Р.З. Рахимов. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та. Казань, 2002. – 128 с.
4. Овчаренко, Ф. Д. Изучение ионообменной адсорбции бутиламмонийхлорида на катионзамещенных формах монтмориллонита / Ф.Д. Овчаренко, А.И. Жукова, Н.В. Вдовенко, Н.С. Дьяченко, Н.Г. Васильев // Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. – 1971. – № 3. – С. 8–13.
5. Логанина, В. И. Оценка эффективности применения смешанослойных глин в рецептуре известковых отделочных составов / В. И. Логанина, Э. Р. Акжигитова // Сухие строительные смеси. – 2013. – № 1. – С. 20–22.

#### References

1. Loganina, V.I. Prospects of manufacturing organic and mineral supplements based on local raw materials / V.I. Loganina, N.A. Petukhova, T.N. Dmitrieva, V.N. Gorbunov // Trans. Construction. – 2009. – № 9. – P. 36–40.
2. Loganina, V.I. Evaluating the effectiveness of mixed-calcareous clays in the formulation finishing compositions / V.I. Loganina, E.R. Akzhigitova // Herald VolgGASU. – 2013. – № 30 (49). – P. 169–173.
3. Sadykov, R.K. Mineral production complex Penza region / R.K. Sadykov, P.P. Senatorov, R.Z. Rakhimov. – Kazan: Kazan. univ. Kazan, 2002. – 128 p.
4. Ovcharenko, F. D. Learning butylammonium chloride ion-exchange adsorption on cation-exchanged forms of montmorillonite / F.D. Ovcharenko, A.I. Zhukov, N.V. Vdovenko, N.S. Dyachenko, A.N. Vasiliev // Physicochemical Mechanics and freeze-dispersed systems. – 1971. – № 3. – P. 8–13.
5. Loganina, V.I. Evaluating the effectiveness of mixed-calcareous clays in the formulation finishing compositions / V.I. Loganina, E.R. Akzhigitova // Dry construction mixtures. – 2013. – № 1. – P. 20–22.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Максимова Ирина Николаевна**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Управление качеством и  
технология строительного производства»  
E-mail: maksimovain@mail.ru

**Макридин Николай Иванович**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Технологии строительных  
материалов и деревообработки»

**Суров Иван Александрович**,  
аспирант кафедры «Технологии  
строительных материалов  
и деревообработки»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Maksimova Irina Nikolaevna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Management of quality  
and the technology of the construction  
production»  
E-mail: maksimovain@mail.ru

**Makridin Nikolai Ivanovich**,  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Technologies of building  
materials and wood processing»

**Surov Ivan Aleksandrovich**,  
Postgraduate of the department «Technologies  
of building materials and wood processing»

## ВЛИЯНИЕ НАНОГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ АПРОТОННЫМИ КИСЛОТАМИ, НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДИСПЕРСНО-КРИСТАЛЛИТНОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, И.А. Суров

Экспериментально показано влияние зародышей нуклеации и кристаллизации дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня на значения его начальной и конечной прочности.

*Ключевые слова: цементный камень, наногидросиликаты кальция, апротонные кислоты, дисперсно-кристаллитная структура, прочность*

## INFLUENCE OF CALCIUM NANOS-HYDROSILICATE, MODIFIED BY APROTIC ACIDS, ON THE STRENGTH OF DISPERSE-CRYSTALED STRUCTURE OF CONCRETE BLOCKS

I.N. Maksimova, N.I. Makridin, I.A.Surov

The influence of embryos of nucleation and crystallization of dispersed-crystaled of concrete blocks on the indexes of their initial and final strength is shown.

*Keywords: concrete block, the nanos-hydrosilicate of calcium, aprotic acids, is dispersed-kristallitnaya structure, strength*

Вопрос о взаимодействии цемента с водой освещен в многочисленных трудах отечественных и зарубежных исследователей, где показано, что с момента затворения водой компонентов бетонной смеси в ней параллельно протекает ряд сложных химических, физико-химических и физико-механических превращений, тесно связанных друг с другом и оказывающих непосредственное влияние на формирование фазового состава и структуры цементного бетона.

По мнению многих исследователей, конечные физико-химические и физико-механические свойства цементного камня определяются начальными стадиями его

твердения. При этом важнейшими факторами модификации структуры и свойств цементного теста и камня является образование адсорбционных слоев поверхностно-активных веществ (ПАВ) на поверхности зерен цемента, а затем на растущих гидратных новообразованиях, что сопровождается повышением дисперсности новых фаз; изменением скорости выделения гидратных новообразований и условий контактных взаимодействий; изменением степени гидратации клинкерных минералов и морфологии гидросиликатов кальция (ГСК).

Различного рода добавки, вводимые в цементные дисперсные системы, можно рассматривать как примеси, которые изменяют ход и кристаллизацию новообразований, фазовый состав и структуру цементного камня.

Современные исследования процессов гидратации и твердения отличаются глубоким проникновением в механизм элементарных стадий – смачивания, адсорбции, растворения, диффузии, собственно химической реакции зародышеобразования и образования гидратов, осложненных для полиминеральных вяжущих практически условиями протекания процессов за счет взаимного влияния минералов друг на друга, а исследование реакции гидратации вяжущих веществ на ионном уровне является наиболее плодотворным и актуальным направлением.

Как известно, ГСК по объему и значению являются основным продуктом цементирующего вяжущего вещества и основным носителем механической прочности цементного камня. В связи с этим представляет как теоретический, так и практический интерес влияние синтетических добавок модифицированных ГСК в виде наногидросиликатов кальция (НГСК) как затравок нуклеации (зародышеобразования) и кристаллизации на процессы гидратации и твердения дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня.

Синтез НГСК вели в модельной системе  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  при водотвердом отношении, равном 60, по методике, изложенной в [1]. Синтезированные НГСК получали в виде порошка путем температурного экстрагирования жидкой фазы модельной системы.

Для изготовления опытных образцов цементного камня размером  $2 \times 2 \times 2$  см использовали бездобавочный сульфатостойкий портландцемент марки 400 с нормальной плотностью, равной 0,26. Всего был изготовлен (вместе с контрольным) 41 состав. При этом воду затворения во всех составах, кроме контрольного, вначале смешивали с соответствующим количеством модифицированной добавки НГСК в виде порошка до полного его диспергирования до наномасштабного уровня, а затем тщательно перемешивали эту воду затворения с цементом. Формование и уплотнение цементного теста осуществляли на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами вибрации в течение 4–5 секунд.

В таблице приведены температурные и концентрационные условия модифицирования зародышей НГСК, дозировка добавки НГСК в процентах по массе от массы цемента и кинетика изменения прочности на сжатие цементного камня в возрастном диапазоне от 1 до 210 суток, твердевшего в нормальных температурно-влажностных условиях.

Как следует из таблицы, в качестве модифицирующих добавок были использованы следующие апротонные кислоты (АК):  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ , на основе которых было осуществлено 40 вариантов модифицирования НГСК. Анализ экспериментальных данных, приведенных в таблице, достаточно отчетливо показывает заметное влияние условий модифицирования НГСК и количественной дозировки НГСК на численные значения как ранней (односуточной), так и конечной прочности на сжатие цементного камня.

## Условия модифицирования ГСК и прочность цементного камня

№ состава	Модификатор ГСК	Кол-во добавки ГСК, %	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте, сут.				
			1	7	14	30	210
1	2	3	4	5	6	7	8
Контр.	–	–	14,8	48,8	53,2	62,2	85,6
1	MgCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 75°C	0,1	15,6	–	78,7	70,3	103,8
2	MgCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 75°C	0,5	12,6	–	70,0	68,1	95,3
3	MgCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 75°C	0,1	17,7	–	52,2	73,3	103,3
4	MgCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 75°C	0,5	17,1	–	71,0	83,3	84,4
5	MgCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 50°C	0,1	18,8	–	82,2	65,9	86,6
6	MgCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 50°C	0,5	15,0	–	65,3	71,1	80,7
7	MgCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 50°C	0,1	15,4	–	74,2	74,8	92,6
8	MgCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 50°C	0,5	17,8	–	70,2	76,2	85,1
9	MgCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 30°C	0,1	17,8	74,8	74,8	74,8	100,0
10	MgCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 30°C	0,5	14,7	70,0	70,6	77,0	90,4
11	BaCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 30°C	0,1	15,3	50,2	88,8	90,4	105,9
12	BaCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 30°C	0,5	12,8	47,8	72,0	83,7	90,3
13	BaCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 50°C	0,1	13,0	58,4	68,3	95,5	117,7
14	BaCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 50°C	0,5	12,8	40,0	62,2	78,5	89,6
15	BaCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 50°C	0,1	12,6	56,4	56,7	80,7	77,7
16	BaCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 50°C	0,5	10,5	54,0	51,8	69,6	92,6
17	BaCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 30°C	0,1	9,5	56,3	71,1	82,2	77,0
18	BaCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 30°C	0,5	10,4	63,5	68,1	88,17	97,0
19	CaCl <sub>2</sub> 500 мг/л, 20°C	0,1	16,3	48,1	51,8	56,3	65,0
20	CaCl <sub>2</sub> 500 мг/л, 20°C	0,5	19,6	49,6	58,5	80,75	66,7
21	CaCl <sub>2</sub> 1000 мг/л, 20°C	0,1	8,0	38,5	58,5	65,1	72,2
22	CaCl <sub>2</sub> 1000 мг/л, 20°C	0,5	8,9	38,5	54,8	53,1	71,1
23	CaCl <sub>2</sub> 10 мг/л, 20°C	0,1	15,1	68,1	71,1	68,9	103,3
24	CaCl <sub>2</sub> 10 мг/л, 20°C	0,5	13,0	65,2	67,4	67,4	77,8

1	2	3	4	5	6	7	8
25	CoCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 50°C	0,1	9,3	50,3	61,4	72,6	99,2
26	CoCl <sub>2</sub> 250 мг/л, 50°C	0,5	8,7	54,0	65,1	85,2	91,1
27	CoCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 50°C	0,1	9,1	56,4	73,3	82,2	87,4
28	CoCl <sub>2</sub> 50 мг/л, 50°C	0,5	8,5	44,4	58,5	86,6	104,4
29	FeCl <sub>3</sub> 500 мг/л, 20°C	0,1	10,8	12,4	83,4	104,4	71,1
30	FeCl <sub>3</sub> 500 мг/л, 20°C	0,5	8,4	54,0	68,9	77,8	111,1
31	FeCl <sub>3</sub> 1000 мг/л, 20°C	0,1	5,5	55,5	68,1	76,3	96,6
32	FeCl <sub>3</sub> 1000 мг/л, 20°C	0,5	5,9	49,6	62,9	67,4	76,7
33	FeCl <sub>3</sub> 10 мг/л, 20°C	0,1	11,7	57,7	62,2	67,4	83,3
34	FeCl <sub>3</sub> 10 мг/л, 20°C	0,5	10,7	45,1	60,0	60,0	82,2
35	FeCl <sub>3</sub> 20 мг/л, 20°C	0,1	10,2	45,1	54,8	62,2	60,0
36	FeCl <sub>3</sub> 20 мг/л, 20°C	0,5	12,0	61,4	71,8	73,6	82,2
37	AlCl <sub>3</sub> 10 мг/л, 20°C	0,1	13,9	62,2	63,0	76,3	82,2
38	AlCl <sub>3</sub> 10 мг/л, 20°C	0,5	15,8	60,0	65,9	74,7	71,1
39	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> 250 мг/л, 20°C	0,1	38,5	62,7	80,0	90,0	100,5
40	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> 250 мг/л, 20°C	0,5	47,4	67,4	90,9	102,9	104,8

В составах, где была использована добавка НГСК с модификатором MgCl<sub>2</sub>, практически нет заметного влияния модифицирующей затравки на значения начальной (суточной) прочности цементного камня, в то же время в составах 1; 3; 9 отмечается заметное повышение конечной прочности на сжатие цементного камня в возрасте 210 суток.

При рассмотрении составов с добавками-зародышами НГСК, модифицированными АК BaCl<sub>2</sub>, следует отметить заметное снижение суточной прочности в составах 16–18 и существенное увеличение конечной прочности в составах 11 и 13.

Рассматривая значения прочностей в составах с добавками НГСК, модифицированных АК CaCl<sub>2</sub>, следует отметить заметное снижение односуточной прочности в составах 21; 22 и одновременно заметное снижение конечной прочности в составах 19–22; 24. Лишь в составе 23 наблюдается примерно одинаковое значение суточной прочности и повышение на 21 % прочности в возрасте 210 суток относительно контрольного состава, что, вероятно, следует объяснить как малой концентрацией CaCl<sub>2</sub> в модельной системе – 10 мг/л, так и малой дозировкой НГСК в количестве 0,1.

Анализируя влияние модифицирующей добавки на основе АК CoCl<sub>2</sub>, можно видеть, что односуточная прочность всех составов оказалась значительно ниже (43–37 %) соответствующей прочности контрольного состава. В то же время в возрасте 210 суток

эти образцы показали небольшое превышение прочности относительно контрольного состава.

При рассмотрении влияния АК  $\text{FeCl}_3$  следует также отметить заметное снижение начальной прочности цементного камня, причем снижение для состава 31 составило 73 %. Эта модифицирующая добавка оказывала негативное влияние и на прочность в возрасте 210 суток практически во всех составах, кроме 30 и 31.

Рассматривая влияние АК  $\text{AlCl}_3$  в составах 37; 38, можно отметить лишь недобор прочности в возрасте 210 суток, тогда как односуточная прочность практически равнялась прочности контрольного состава.

Наконец, рассматривая влияние модифицирующей АК  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  в составах 39; 40, следует отметить существенное влияние модифицированных НГСК на основе  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  на значение начальной прочности, которая увеличивалась при количественной дозировке 0,1 % в 2,6 раза, а при дозировке 0,5 % односуточная прочность возрастала в 3,2 раза; в то же время прочность цементного камня в возрасте 210 суток превышала соответственно прочность контрольного состава на 17 и 22 % соответственно.

Таким образом, проведенные исследования по изучению влияния зародышей НГСК, модифицированных разными апротонными кислотами при разной весовой концентрации в составе бетона, позволяют в определенной мере регулировать в нужном направлении как раннюю (односуюточную), так и конечную (в возрасте 210 суток) прочность цементного камня.

Ранее [1, 2] было показано влияние модифицирующих добавок АК на электрические свойства синтезированных НГСК, совместный анализ которых показал, что прочность цементного камня возрастает с теми добавками НГСК, удельная электропроводность которых меньше в 3–5 раз по сравнению с контрольным составом. Чем меньше удельная электропроводность НГСК, тем больше они повышают прочность цементного камня. Исследования показали также, что, как правило, прочность повышают те НГСК, у которых в структуре ослаблена водородная связь. Таким образом, данные электрических измерений в сочетании с другими методами, в частности, с расчетным методом оценки плотности дислокаций, позволяют получить дополнительные сведения о структуре НГСК и предсказать влияние НГСК на прочность цементного камня.

#### Список литературы

1. Макридин, Н.И. О микроструктуре и синтезе прочности цементного камня с добавками ГСК / Н.И. Макридин, В.Н. Вернигорова, И.Н. Максимова // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 8. – С. 37–42.
2. Вернигорова, В.Н. Влияние добавок на электрические свойства гидросиликатов кальция / В.Н. Вернигорова, Н.И. Макридин, И.Н. Максимова // Башкирский химический журнал. – 2004. – Т.11. – № 4. – С. 38–41.

#### References

1. Makridin, N.I. On microstructure and synthesis of the strength of concrete block with the additives GSK / N.I. Makridin, V.N. Vernigorova, I.N. Maximova // Proceedings of VUZ (Institute of Higher Education). Construcrions. – 2003. – № 8. – P. 37–42.
2. Vernigorova, V.N. Influence of additives on the electrical properties of the hydrosilicates of calcium / V.N. Vernigorova, N.I. Makridin, I.N. Maximova // Bashkir chemical periodical. – 2004. – T.11. – № 4. – P. 38–41.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Фокин Георгий Александрович**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Физика и химия»  
E-mail: fokingeorg@mail.ru

**Гуськов Антон Сергеевич**,  
аспирант кафедры «Физика и химия»  
E-mail: GuskovAnton90@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Fokin Georgiy Alexandrovich**,  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Physics and Chemistry»  
E-mail: fokingeorg@mail.ru

**Guskov Anton Sergeevich**,  
Postgraduate of the department «Physics and  
Chemistry»,  
E-mail: GuskovAnton90@yandex.ru

## АКТИВИЗАЦИЯ КИНЕТИКИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО

Г.А. Фокин, А.С. Гуськов

Представлены результаты исследования активизации кинетики формирования структуры композитов на основе цементного вяжущего. Экспериментально подтверждено благотворное влияние активизации кинетики на повышение прочности цементного камня.

*Ключевые слова: активизация ультразвуком, цементный камень, свободная энергия, удельная поверхность, прочность*

## ACTIVATION OF KINETICS OF COMPOSITES STRUCTURE FORMATION BASED ON CEMENT BINDER

G.A. Fokin, A.S. Guskov

The results of studies of kinetics activation of composites structure formation based on cement binder are presented. Beneficial effect of kinetics activation on increasing of strength of cement is experimentally confirmed.

*Keywords: ultrasound activation, cement stone, free energy, surface area, strength*

Огромные расходы цементных вяжущих заставляют искать пути повышения активности процесса твердения. В этом направлении ведется интенсивная работа по совершенствованию технологии цементных композитов. Как показывает практика, наибольший эффект достигается за счет улучшения свойств раствора. Решение этой задачи может быть самым разным.

Проведены исследования влияния ультразвуковой обработки ненасыщенного раствора на твердение цементного камня. Раствор был изготовлен с концентрацией твердой фазы 1,3 % (массовое содержание цемента) из портландцемента марки 400-Д0 (ГОСТ 101178–85), который подвергался обработке низкочастотными ультразвуковыми колебаниями с частотой 22 кГц, мощностью 140 В·А (10 Вт/см<sup>2</sup>) в течение 5 минут.

Установлено, что при обработке раствора ультразвуком происходят быстрое оседание грубодисперсных частиц на дно сосуда и ускоренное равновесное распределение частиц по высоте столба раствора. В отдельных опытах показано, что седиментационное равновесие, соответствующее примерно такому же распределению частиц в гравитационном поле, устанавливается только в течение 30-40 минут. Затем отбирали пробы суспензии с пяти слоев. В результате обработки низкочастотными ультразвуковыми колебаниями каждый слой характеризуется различным размером фракции вследствие ускоренного их распределения под действием ультразвуковой обработки.

Для определения влияния воздействия ультразвука на расклинивающее действие воды затворения, а соответственно и на процесс диспергирования частиц, был проведен седиментационный анализ. В результате анализа получено следующее распределение частиц по их размерам (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Распределение радиусов фракций по размерам					
	Слой				
	1	2	3	4	5
Средний радиус фракции, мкм (Обработка ультразвуком)	2,25	7,5	20	40	85
Процентное содержание частиц, %	23,1	4,98	15,9	32,23	23,8
Средний радиус фракции, мкм (Без обработки ультразвуком)	–	–	25	45	85
Процентное содержание частиц, %			38,5	28,4	33,1

Из табл. 1 видно, что крупные частицы со средним радиусом 85-25 мкм под действием ультразвуковых колебаний диспергируют на более мелкие 2,25-7,5 мкм. Повышение процентного содержания частиц с малым радиусом фракции свидетельствует о благоприятном влиянии ультразвуковых колебаний.

Для нахождения массы частиц в слое было произведено взвешивание каждого слоя на весах с точностью взвешивания до 0,001 г. В первом слое масса частиц составила 1,097 г, во втором – 1,992 г, в третьем – 2,553 г, в четвертом – 3,536 г и в пятом – 3,711 г.

Результаты свидетельствуют об изменении массы частиц в слоях. Это сопровождается изменением свободной энергии, которая играет важную роль в активизации диффузионных процессов, являющихся основой в формировании кристаллического каркаса цементного камня. С другой стороны, возрастанию активности при диспергировании цементных зерен способствует рост удельной поверхности частиц, которая изменяется обратно пропорционально линейным размерам. В табл. 2 показано увеличение удельной поверхности при прогрессирующем дроблении материала при воздействии ультразвука.

Т а б л и ц а 2

Размер частиц	Число частиц	Суммарная поверхность	Удельная поверхность, отнесенная к единице объема
85 мкм	$0,111 \cdot 10^{10}$	$600 \text{ см}^2$	$6 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$
40 мкм	$1,015 \cdot 10^{10}$	$1200 \text{ см}^2$	$6 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$
20 мкм	$5,86 \cdot 10^{10}$	$2400 \text{ см}^2$	$6 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$
7,5 мкм	$86,71 \cdot 10^{10}$	$6000 \text{ см}^2$	$6 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$
2,25 мкм	$176,9 \cdot 10^{10}$	$6 \text{ м}^2$	$6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$

Табл. 2 наглядно показывает зависимость размера частиц от удельной поверхности. Чем больше размер частиц, тем меньше удельная поверхность, и наоборот.

Удельной поверхностью называется поверхность, которая отнесена к единице веса ( $\text{см}^2/\text{г}$ ) или к единице объема ( $\text{см}^2/\text{см}^3 = \text{см}^{-1}$ ) и величина которой характеризует степень дисперсности данного материала. Она является важным условием, обеспечивающим гидравлическую активность вяжущего вещества по отношению к воде затворения.

Известно, что химические изменения веществ обуславливаются разностью внутренней энергии веществ, вступающих в реакцию, и веществ — продуктов реакции. Внутренняя энергия зависит не только от вида и количества данного вещества, но и от его дисперсности [1].

Количество химически связываемой воды во времени характеризует кинетику реакций, обуславливающих твердение цементов. Увеличивая степень дисперсности определенных материалов, их можно переводить в другую, качественно более высокую категорию [1]. Таким образом, разработанный способ повышает степень дисперсности вещества, оказывает большое влияние на экономику производства строительных материалов и изделий. Поэтому в технологии вяжущих веществ стремятся к очень тонкому измельчению сырьевых материалов и получаемых из них вяжущих.

Для расчетного предела использовался логарифмический закон роста прочности твердения:

$$R_n = R_{28} \left( \frac{\lg n}{\lg 28} \right), \quad (1)$$

где  $R_n$  — прочность в возрасте  $n$  суток ( $n$  составляет не менее трех суток);  $R_{28}$  — марочная прочность.

Этот закон справедлив только после образования первоначальной структуры материала, т.е. после приобретения определенной первоначальной прочности.

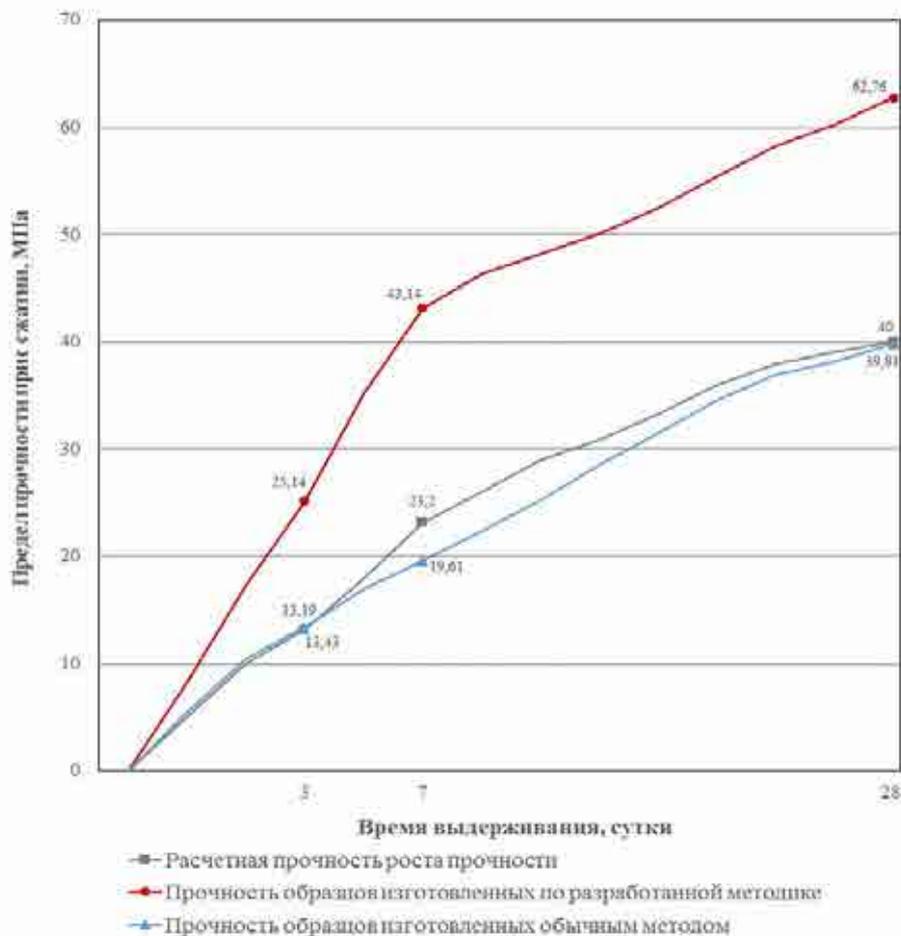
Были изготовлены опытные образцы цементного камня кубической формы при наборе прочности в нормальных условиях. Проведено испытание на сжатие опытных образцов. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Результаты испытания на сжатие опытных образцов			
	Срок		
	3 дня	7 дней	28 дней
Прочность, МПа (Разработанный метод)	21,57	31,38	58,84
	25,10	41,44	59,63
	23,14	43,14	62,76
Прочность, МПа (Обычный метод)	13,43	16,24	34,67
	15,29	18,38	30,09
	17,16	19,61	39,81

Из данных, представленных в табл. 3, видно, что прочность образцов, изготовленных по разработанной методике, выше прочности образцов, замешанных обычным методом. Образцы на обработанном ультразвуком растворе достигли марочной прочности за 7 дней, в то время как образцы, изготовленные обычным способом, за этот же промежуток времени достигли лишь 50 % марочной прочности. После 28-дневного срока твердения прочность образцов, изготовленных по разработанной методике, выше прочности образцов, полученных с использованием обычной методики. Повышение прочности обусловлено большим содержанием частиц с малым радиусом фракции 2,25 мкм, являющихся центрами кристаллизации [2]. На рисунке показан предел прочности цементного камня при сжатии.

Набор прочности согласно расчетной кривой в первые 3 дня твердения составлял 13,19 МПа. Образцы, изготовленные обычным способом, за этот промежуток времени смогли набрать прочность 13,43 МПа, что практически соответствует расчетной кривой. Образцы, полученные с использованием разработанной методики, набрали прочность 25,14 МПа, что на 11,71 МПа больше, чем при обычном методе. Это свидетельствует об активизации ультразвуком кинетики формирования структуры материала на ранних сроках набора прочности. Через 7 дней образцы, изготовленные по разработанному методу, набирают марочную прочность портландцемента 400-Д0, причем рост прочности данных образцов заметно опережает рост прочности обычных образцов 19,61 МПа и расчетную прочность 23,2 МПа. По истечении 28-дневного срока твердения образцы, изготовленные по разработанной методике, значительно опережают по росту прочности образцы, полученные с использованием обычного метода.



Предел прочности цементного камня при сжатии

Таким образом, ультразвуковая обработка благоприятно влияет на активизацию кинетики формирования структуры композитов на основе цементного вяжущего. Активизация ультразвуком сопровождается изменением свободной энергии, которая играет важную роль в активизации диффузионных процессов, являющихся основой в формировании кристаллического каркаса цементного камня, усиливает диспергирование частиц цемента, увеличивает число частиц с малым радиусом фракции. Использование раствора с большим содержанием частиц с малым радиусом фракций дает возможность получать композиты с высокими прочностными характеристиками, а также ускоряет набор прочности композитов на основе цементного вяжущего.

Список литературы

1. Хигерович, М.И. Физико-химические и физические методы исследования строительных материалов / М.И. Хигерович, А.П. Меркин. – М.: Высшая школа, 1968. – 192 с.
2. Козлова, О.Г. Рост кристаллов / О.Г. Козлова. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1967. – 238 с.
3. Фокин, Г.А. Акустические и вихревые поля в водных растворах: моногр. / Г.А. Фокин, О.В. Тетюшева, А.С. Гуськов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 259 с.

References

1. Higerovich, M.I. Physico-chemical and physical methods of building materials / M.I. Higerovich, A.P. Merkin. – M.: Higher School, 1968. – 192 p.
2. Kozlova, O.G. Crystal growth / O.G. Kozlova. – M.: Moscow University Publishing House, 1967. – 238 p.
3. Fokin, G.A. Acoustic and vortex fields in aqueous solutions: monogr. / G.A. Fokin, O.V. Tetyusheva, A.S. Guskov. – Penza: PGUAS, 2013. – 259 p.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Гусев Николай Иванович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
Тел.: (8412) 92-69-29

**Кочеткова Майя Владимировна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»

**Паршина Ксения Сергеевна**,  
студентка

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Gusev Nikolai Ivanovich**,  
Candidate of Sciences, Professor of the  
department «Quality management and  
Technology of construction production»  
Tel.: (8412) 92-69-29

**Kochetkova Maya Vladimirovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of  
the department «Quality management and  
technology of building production»

**Parshina Ksenia Sergeevna**,  
student

## ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ НАРУЖНОЙ ОТДЕЛКИ ПЕНОБЕТОННЫХ СТЕН

Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина

Представлены особенности наружной отделки зданий из легкого бетона цементным раствором, поризованным пеной и модифицированного полимером, что позволит снизить его плотность с одновременным повышением паропроницаемости и прочности сцепления с основанием.

*Ключевые слова: пенополимерцементные композиции, отделка легкобетонных стен, деформативность защитно-отделочного слоя, упругоэластические свойства, паропроницаемость, усадка, морозостойкость*

## POLYMER COMPOSITION FOR EXTERNAL FINISHES OF FOAMCONCRETE WALL

N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina

External finish of buildings from lightweight concrete by porous foamconcrete mortal and polymer-modified which reduces its density and increases water vapor permeability and adhesion to the base is offered.

*Keywords: foampolymer composition, lightweight concrete wall, deformability of protective topcoat, elastoplastic properties, water vapor transmission rate of the solution, effect of shrinkage, frost resistance.*

Устройство наружных стен отапливаемого дома из легкого бетона экономически выгодно. Так, стена из пенобетона толщиной 60 см заменяет стену из кирпича толщиной 150–170 см при одновременном снижении массы 1 м<sup>2</sup> стены в 4 раза, что положительно сказывается на устройстве фундаментов, нагрузка на которые может сократиться в 5–6 раз. Поэтому, несмотря на высокую стоимость пенобетона, применение его для ограждающих конструкций вполне оправдано. Кроме того, теплые стены позволяют сократить расходы на отопление зданий, повысить комфортность для находящихся в них людей.

Однако широкому применению пенобетона для возведения наружных стен зданий препятствует его низкая атмосферостойкость. Низкопрочный пористый материал не способен выдержать влагу и мороз. Защита пенобетона плотным и тяжелым цемент-

ным раствором недопустима по причине сезонной миграции влаги по толщине стены, которая, скапливаясь в пенобетоне у границы цементного покрытия, размораживается и отторгает это покрытие. Для защитного слоя нужен прочный и пористый материал. Таким материалом может быть слой поризованного пеной цементного раствора, обладающего декоративными качествами [1, 2].

Для обеспечения высокой прочности стены из пенобетона и декоративного материала покрытия необходима совместная работа двух разнородных материалов при длительном воздействии различных агрессивных факторов. Однако этому препятствует различие этих материалов в паропроницаемости и деформативности. Пенобетон обладает высокой паропроницаемостью и хорошо пропускает мигрирующую из помещения влагу. Декоративный материал с низкой паропроницаемостью задерживает эту влагу и накапливает ее в толще бетонной стены, что приводит к переувлажнению и размораживанию последней в зимний период. При различных температурно-влажностных деформациях материалов основания и защитно-отделочного слоя происходит растрескивание и отторжение последнего. Вот почему заслуживает внимание идея применения для такого слоя поризованного раствора с объемной массой 1200–1400 кг/м<sup>3</sup>.

После твердения пенобетона на него нельзя нанести раствор из-за плохого сцепления и низкой прочности покрытия вследствие обезвоживания его пористым основанием. Поэтому для улучшения свойств поризованного раствора и обеспечения его надежного сцепления с пенобетоном в раствор вводили полимеры. В результате были разработаны пенополимерцементные составы для отделки стен из пенобетона. Изучались физико-механические свойства полимерцементных растворов состава 1:3 на основе поливинилацетатной дисперсии и латекса СКС-65ГП, вводимых в раствор в количестве 7, 10, 15 и 20 % от веса цемента. Для сближения свойств раствора с пенобетоном он подвергался поризации пеной с доведением его объемной массы до 1300–1500 кг/м<sup>3</sup>.

Введение полимеров повышает стойкость растворов для покрытия к агрессивным жидкостям, одновременно увеличивая их прочность при растяжении, а также водонепроницаемость и морозостойкость – улучшаются адгезионные свойства. Вместе с тем понижается модуль упругости, что способствует снижению хрупкости и повышению трещиностойкости. Однако общим недостатком, свойственным полимерцементным растворам, является их высокая усадка. Особенно велика усадка для растворов с поливинилацетатом, что объясняется его способностью к набуханию. Усадочные деформации каучукцементных растворов при содержании полимера менее 20 % от веса цемента не превышают значения усадки для обычного раствора.

Следует отметить, что благодаря пластифицирующим свойствам полимерной добавки снизилось водоцементное отношение В:Ц с 0,54 до 0,40. Оптимальными условиями твердения следует считать влажность воздуха 50–60 % и температуру +20 °С. Прочность при сжатии, растяжении и сдвиге показана в таблице.

Полимеры	Содержание полимера, %	В: Ц	Прочность, МПа		
			при сжатии	при растяжении	при сдвиге
ПВАД	0	0,54	0,42	0,49	0,74
	7	0,47	0,57	0,96	1,01
	10	0,47	0,76	1,16	1,16
	20	0,47	1,18	1,41	1,22
СКС-65ГП	7	0,49	0,58	0,85	0,90
	10	0,44	0,94	1,22	1,05
	15	0,37	1,09	1,48	1,01
	20	0,38	0,99	1,40	0,70

Пенополимерцементные растворы отвечают требованиям по прочности для защитно-отделочных составов. Вместе с тем введение полимера способствует улучшению

упругопластических свойств раствора. Так, введение 10–15 %-й добавки латекса понижает модуль упругости по сравнению с немодифицированным составом на 12–14 %.

Растворы с полимером отличаются хорошим сцеплением с пенобетоном. При введении более 8 % полимера прочность сцепления превышает прочность пенобетона. Удовлетворительной прочностью сцепления остается и при воздействии различных агрессивных факторов: переменное замораживание и оттаивание составило 35 циклов, переменное увлажнение и высушивание – 50 циклов; не сказалось отрицательно и годичное хранение на открытом полигоне, а также ультрафиолетовое облучение.

Формирование структуры пенополимерцементного раствора в 20-миллиметровом слое на пористом и водонепроницаемом основаниях изучали с помощью пластометрии. Исследования показали, что раствор с П:Ц=0 на пористом основании быстро увеличивает пластическую прочность и достигает максимальных значений за 3–3,5 часа, после чего 20-миллиметровый слой раствора обезвоживается и его прочность нарастает медленно.

При введении в раствор полимера отмечается тенденция к замедлению формирования структуры. Количественная сторона данного явления может иметь разное объяснение. Во-первых, более медленное нарастание пластической прочности в раннем возрасте с увеличением П:Ц можно объяснить лучшим сохранением влаги в растворе на пористом основании, капиллярные выходы которого закрывают полимерные пробки. Во-вторых, с увеличением П:Ц тормозящее структурообразование действие полимера возрастает и пластическая прочность снижается. В первые часы затвердения кристаллизационные процессы почти не протекают, поэтому нарастание пластической прочности в бесполимерных составах и составах с малым П:Ц происходит только за счет потери раствором влаги. Впоследствии ослабляющее воздействие латекса на кристаллизацию гидратных новообразований проявляется более четко [3, 4]. Действительно, пенополимерцементный раствор с П:Ц=0,20 даже через сутки сохраняет видимые вязкопластические свойства.

Водоудерживающая способность полимерной добавки особенно хорошо видна при сравнении пластограмм, полученных в 20-миллиметровом слое на пористом основании, с пластограммами, полученными в таком же слое на водонепроницаемом основании. Здесь очевидно замедление структурообразования при добавке полимера. Несколько повышенная пластическая прочность растворов с добавками, по сравнению с раствором без добавок, может быть объяснена образованием пленки на поверхности растворов с полимером, на разрушение которой при внедрении индентора затрачивается определенная работа. Для раствора с П:Ц=0,15 при снятии пленки пластическая прочность понижается на 10–15 %, а для раствора с П:Ц=0,20 – на 30–40 %. Причем эти величины значительно изменяются в различные сроки определения пластической прочности.

Проведенные опыты свидетельствуют об исключительно благоприятном воздействии полимера на формирование структуры пенополимерцементных растворов на пористом основании. Причем оптимальными можно считать растворы с П:Ц= от 0,10–0,12. При таком количестве полимера сохраняются нормальные условия для гидратации цемента при укладке раствора на пористое основание из пенобетона.

При испытании на морозостойкость прочность при сжатии образцов с содержанием 10–15 % латекса СКС-65ГП после 60 циклов замораживания и оттаивания не снижалась, а потеря веса составила всего 1,5–2,0 %. Этому способствует низкое водопоглощение растворов, связанное с их высокой водонепроницаемостью. Пенополимерцементные растворы обладают удовлетворительной паропроницаемостью. При содержании полимера в растворе до 12 % она не превышает норматива. Пенополимерцементные растворы на основе поливинилацетатной дисперсии показали высокую усадку, превышающую аналогичные показатели для пенобетона более чем в два раза. Составы же с латексом СКС-65ГП имеют максимальную разницу в усадке по сравнению с пенобетоном (менее 0,3 мм/м). Коэффициент температурного расширения пенополимерцементных растворов с 10 %-м содержанием латекса СКС-65ГП в диапа-

зоне температур от  $-10$  до  $+60$  °С составляет  $8,5 \times 10^{-6}$ , а для пенобетона это значение равно  $8 \times 10^{-6}$ .

Программа исследований предусматривала также изучение влияния смачивания поверхности пенобетона на его сцепление с пенополимерцементным раствором. При нанесении даже пластичного пенополимерцементного раствора на пыльную сухую поверхность пенобетона трудно добиться их хорошего склеивания. Так или иначе, необходимо смочить поверхность бетона влагой, после чего раствор можно нанести на пенобетон. Поэтому нами априори была признана необходимость обеспыливания и смачивания поверхности бетона. При этом надо полагать, что вода или сильно разжиженная дисперсия полимера могут глубже проникнуть в капиллярные ходы пенобетона, чем концентрированная дисперсия. Но, заполнив капиллярные поры, вода не способствует глубокому прониканию глобул полимера из полимерцементного раствора, что отрицательно сказывается на прочности сцепления. При смачивании поверхности пенобетона дисперсией с большим содержанием полимера в капиллярные поры поверхности быстро проникают частицы полимера, закрывая их, что также снижает возможность хорошего сцепления. Поэтому необходимо найти оптимальную концентрацию дисперсии полимера, пригодную для смачивания пенобетонного основания. Нами изучалось влияние смачивания поверхности пенобетона: водой, латексом, разбавленным водой 1:10, латексом, разбавленным водой 1:20, латексом с содержанием сухого остатка 49 %.

Кроме того, прочность сцепления и морозостойкость двухслойных образцов проверяли при набрызге на пенобетон после его увлажнения водой жидкого полимерцементного раствора с П:Ц=0,10 слоем 2–4 мм и такого же раствора с П:Ц=0,20. Прочность сцепления пенополимерцементного раствора с П:Ц=0,10 после 14-суточного воздушно-сухого хранения и 35 циклов замораживания и оттаивания весьма достаточная.

Прочность сцепления во всех случаях увлажнения пенобетона, кроме опытов с набрызгом, вполне удовлетворительная. Однако, как и следовало предполагать, при смачивании бетона неразбавленным латексом образуется значительная пленка чистого эластомера, что приводит к концентрации напряжения на границе материалов с различными свойствами и разрушению по поверхности сцепления. По этой же причине не выдерживают эти образцы и испытания на морозостойкость через 30, 25 и даже 15 циклов замораживания и оттаивания. Происходит отслоение по поверхности сцепления, причем на поверхности пенобетона или раствора остается пленка полимеров. При смачивании пенобетона водой пленка в граничном слое не образуется, но из-за малого проникания полимера в поры пенобетона прочность сцепления снижается.

Удовлетворительную морозостойкость показали образцы, смоченные слабоконцентрированным латексом. Образцы с набрызгом хотя и показали малую начальную прочность, но не расслоились в течение 35 циклов замораживания и оттаивания.

На основании проведенных исследований можно полагать, что при нанесении пенополимерцементного раствора на пенобетон в граничном слое образуется пленка из полимера, в значительной степени влияющая на прочность сцепления, морозостойкость, паропроницаемость и водонепроницаемость защитно-отделочного покрытия. Ее толщина зависит от концентрации дисперсии полимера, применяемого для увлажнения пенобетона, и от П:Ц полимерцементного раствора. При концентрации дисперсии менее 1:5 и при П:Ц менее 0,15–0,10 пленка не образуется, а полимер внедряется в поры пенобетона, образуя уплотненный слой. Этот слой в достаточной мере паропроницаем.

Таким образом, для защитно-отделочных покрытий стен из пенобетона можно рекомендовать пенополимерцементные растворы с латексом СКС-65ГП в количестве 8–12 % от массы цемента.

## Список литературы

1. Гусев, Н.И. Из опыта реставрации старых зданий / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С.128–132.
2. Кочеткова, М.В. Индустриальные способы отделки фасадов зданий / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, Р.Х. Киров // Проблемы и перспективы развития строительной отрасли: сб.тр. междунар.науч. конф. – Пенза: ПГУАС, 2013. – С.78–80.
3. Гусев, Н.И. Некоторые причины низкого качества при производстве строительных работ / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, М.Б. Хрусталева // Наука и образование: Проблемы развития строительной отрасли: сб.тр. междунар. науч. конф. – Пенза: ПГУАС, 2012. – С.64–66.
4. Гусев, Н.И. Качество реконструкции зданий / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова // Современное состояние и перспективы развития строительной отрасли: сб.тр. Междунар.науч. конф. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С.111–113.

## References

1. Gusev, N.I. From the experience of restoration of old buildings / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshin // Regional architecture and engineering. – 2014. – № 1. – P.128–132.
2. Kochetkova, M.V. Industrial methods of finishing facades of buildings / M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, A.D. Kirov // Problems and prospects of development of the construction industry: collection of the international scientific conference. – Penza: PGUAS, 2013. – P.78-80.
3. Gusev, N.I. Some causes of low quality during the construction / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, M.B. Khrustalyova // Science and Education: Problems of development of the construction industry: collection of the international scientific conference. – Penza: PGUAS, 2012. – P.64–66.
4. Gusev, N.I. Quality remodeling / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova // The current state and prospects of development of the construction industry: collection of the international scientific conference. – Penza: PGUAS, 2011. – P.111–113 .

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Береговой Александр Маркович,**  
доктор технических наук, профессор  
E-mail: ambereg@rambler.ru

**Дерина Мария Александровна,**  
аспирант кафедры «Городское  
строительство и архитектура»  
E-mail: gsia @ pguas.ru

**Береговой Виталий Александрович,**  
доктор технических наук, доцент кафедры  
«Технологии строительных материалов  
и деревообработки»  
E-mail: vabereg@rambler.ru

**Мальцев Алексей Викторович,**  
ассистент кафедры «Городское  
строительство и архитектура»  
E-mail: malstev88@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Beregovoy Aleksandr Marcovich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
E-mail: ambereg@rambler.ru

**Derina Marya Alecsandrovna,**  
Postgraduate of the department «Urban  
construction and Architecture»  
E-mail: gsia @ pguas.ru;

**Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich,**  
Doctor of Sciences, Associate Professor of the  
department «Technology of building materials  
and wood processing»  
E-mail: vabereg@rambler.ru

**Maltsev Alecsei Victorovitch,**  
Assistant of the department «Urban  
construction and Architecture»  
E-mail: malstev88@mail.ru

## ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ЭКСФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ПОРИСТУЮ СТРУКТУРУ МАТЕРИАЛА ОГРАЖДЕНИЯ

А.М. Береговой, М.А. Дерина, В.А. Береговой, А.В. Мальцев

На основании разработанной расчетной модели дана приближенная оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через перекрытие холодного чердака для различных вариантов пористого и плитного утеплителя, что позволяет уточнить тепловую эффективность ограждающей конструкции.

*Ключевые слова: оценка, расчетная модель, наружное ограждение здания, эксфильтрация воздуха, тепловые потери*

## ESTIMATION OF HEAT LOSS AT AIR EXFILTRATION THROUGH POROUS MATERIAL STRUCTURE OF ENCLOSURE CONSTRUCTION

А.М. Beregovoy, М.А. Derina, В.А. Beregovoy, А.В. Maltsev

Based on calculational model an approximate estimation of heat loss at air exfiltration through cold garret floor is given for various variants of porous and slab heat insulators, that enables to precise the thermal efficiency of the enclosure construction.

*Keywords: estimation, calculational model, enclosure structure of building, air exfiltration, heat loss*

В зданиях с большим сроком эксплуатации наиболее быстрому ухудшению функциональных свойств подвержены конструктивные слои и элементы, предназначенные для тепловой защиты зданий (утеплитель, паро-гидроизоляция). Опубликованные результаты натурных обследований жилой застройки с большим сроком эксплуатации указывают на то, что наряду с процессом физического и морального старения в ее

зданиях наблюдается прогрессирующее ухудшение микроклимата и рост тепловых потерь [1,2,3].

Для повышения их тепловой эффективности предлагаются не только усовершенствованные конструктивные решения ограждений, но также и инновационные способы целенаправленного изменения структуры теплоизоляционных материалов, анализ факторов влияния на основе системного подхода [4, 5, 6].

В работах [1, 2] отмечен низкий уровень тепловой защиты крыш с холодным чердаком зданий старой застройки. С целью выяснения причин больших тепловых потерь и ухудшения теплового режима помещений верхнего этажа были выполнены натурные обследования малоэтажных гражданских зданий с разными сроками эксплуатации. Результаты обследований показали, что на снижение тепловой эффективности наружных ограждений непосредственное влияние оказали ошибки и дефекты при проектировании и возведении конструкций и системы естественной вентиляции, а также неграмотная их эксплуатация, нарушение сроков проведения текущих и капитальных ремонтов в течение длительного времени (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Дефекты тепловой защиты чердачного пространства некоторых из обследованных зданий и причины снижения тепловой эффективности

Назначение здания	Срок эксплуатации, лет	Основные причины снижения тепловой эффективности	Обнаруженные дефекты тепловой защиты
Госпиталь на ул. Кирова	> 150 лет	Пылевидное состояние структуры утеплителя из шлака, слабая вентиляция	Большие тепловые потери из помещений верхнего этажа через чердачное перекрытие, не имеющее воздухопроницаемого слоя, и через утеплитель с нарушенной микроструктурой. Вследствие этого интенсивное накопление снежно-ледяного массива на кровлях зданий
Музыкальное училище, ул. Бумажников	> 100 лет	отсутствие воздухопроницаемого слоя в утеплителе на чердаке	
Двухэтажные жилые здания, ул. Докучаева №5, Воровского №19, 21, Фрунзе № 42	> 50 лет	Те же основные причины. Кроме того, плохая теплоизоляция трубопроводов теплоснабжения и ее полное отсутствие на вентиляционных блоках в чердаке	
Здание пенсионного фонда	> 10 лет	Ошибки в проектировании количества вентиляционных отверстий и их размеров во фризových стенах чердака	Сильное увлажнение утеплителя из-за падения капель конденсированной влаги с ветрозащитной мембраны
Здание областного суда	< 10 лет	Образование продуваемых «воздушных мешков» в сверхлегком минватном утеплителе в стенах мансарды	Рост тепловых потерь со снижением температуры воздуха в рабочих помещениях мансарды до + 8 ... 10°C

Причины снижения тепловой эффективности крыш зданий с большими сроками эксплуатации (три первых дома в таблице) обуславливают поступление больших тепловых потоков к поверхности кровли, приводящие к образованию на них массивных снежно-ледяных покрытий.

Для оценки величины тепловых потерь через конструкции крыш обследованных зданий рассмотрим воздушный баланс помещений с учетом особенностей

конструктивного решения чердачного перекрытия и разницы давлений воздуха  $\Delta p$ , Па, по обе стороны наружного ограждения.

Величину  $\Delta p$  определили по формуле

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_n - \gamma_b) + 0,03\gamma_n v^2, \quad (1)$$

где  $H$  – высота здания (от уровня пола первого этажа до вытяжных отверстий чердака), м;  $\gamma_n, \gamma_b$  – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м<sup>3</sup>;  $t$  – температура внутреннего и наружного воздуха, °С;  $v$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь.

При отсутствии ветра механизм инфильтрации воздуха через наружное ограждение нижнего этажа и его эксфильтрации на верхнем этаже будет действовать благодаря перераспределению плотностей холодного и теплого воздуха по высоте здания, т.е. за счет теплового напора (уравнение 1 без второго слагаемого).

В расчетной модели для оценки тепловых потерь принято следующее допущение: скорость движения воздуха над поверхностью утеплителя чердачного перекрытия чрезвычайно мала (по результатам измерений она составляет всего несколько см/с). Поэтому при определении  $\Delta p$  второе слагаемое уравнения (1) учитывать не будем.

Величина тепловых потерь, Вт/м<sup>2</sup>, через чердачное перекрытие, имеющее в своем составе воздухопроницаемый слой, будет равна:

$$q = (t_b - t_n) / R_0. \quad (2)$$

Однако если этот слой имеет дефекты или его нет, на что указали результаты натурных обследований (см. табл. 1), то через конструкцию перекрытия будет происходить эксфильтрация воздуха в виде теплового потока, величину которого найдем по соотношению

$$q_u = \frac{c_b \cdot \omega \cdot e^{c_b \cdot \omega \cdot R}}{e^{c_b \cdot \omega \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n), \quad (3)$$

где  $t_b$  и  $t_n$  – наружная и внутренняя температура воздуха по обе стороны перекрытия, °С;  $c_b$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг·°С;  $\omega$  – количество эксфильтрующегося воздуха, кг/м<sup>2</sup>·ч:

$$\omega = \Delta p / R_u,$$

$R_u$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/кг, – сопротивление воздухопроницанию многослойной конструкции чердачного перекрытия

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un};$$

$R$  – сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия на границе у внутренней поверхности, м<sup>2</sup>·°С/Вт;  $R_0$  – общее сопротивление теплопередаче перекрытия, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

В соответствии с расчетной моделью была определена искомая величина тепловых потерь  $q_u$  через обследованную конструкцию чердачного перекрытия при  $\Delta p = 1,54$  Па, которая является типовой для большого массива малоэтажных зданий г. Пензы. Кроме того, аналогичные расчеты сделаны и для некоторых других конструктивных решений этого ограждения (табл.2).

Для использованных материалов и конструктивных слоев перекрытия приняты следующие значения плотности, кг/м<sup>3</sup>, и толщины, см, соответственно: шлак – 900 и 18, доски – 700 и 2,5, жесткие минераловатные плиты – 150 и 15, керамзит – 250 и 18, плита из пенополистирола – 100 и 14, цементно-песчаная стяжка (ЦПС) – 1700 и 2, плита из железобетона – 2200 и 20.

Значения  $q_{\text{норм}}$ , Вт/м<sup>2</sup>, в последнем столбце таблицы найдены по формуле (2).

С ростом этажности здания увеличивается и величина тепловых потерь  $q_u$ , Вт/м<sup>2</sup>, через верхнюю ограждающую конструкцию вследствие повышения теплового напора: в 1-этажном здании она составляет 40,4; в 2-этажном – 68,2; в 3-этажном – 92,2; в 4-этажном – 122,5; в 5-этажном – 149,7.

Через обследованную конструкцию чердачного перекрытия величина тепловых потерь в 3,5 раза больше той, которая определяется по стандартной методике в отсутствие эксфильтрации (по уравнению (2)). Это подтверждается измерениями тем-

пературы воздуха помещений верхнего этажа упомянутых зданий, которая в период резких похолоданий находилась в пределах 14–15 °С.

Укладка дополнительного теплоизоляционного слоя из воздухопроницаемого материала, например минераловатной плиты, поверху шлаковой засыпки – энергосберегающее мероприятие, предлагаемое рядом авторов, – также не решает проблему больших тепловых потерь ( $q_u > q_{\text{норм}}$  для конструктивной схемы №3 табл.2).

Т а б л и ц а 2

Теплофизические показатели конструкций чердачного перекрытия

№ п/п	Конструктивная схема	$\omega$ , кг/м <sup>2</sup> ·ч	$R_{и}$ , (м <sup>2</sup> ·ч·Па)/кг	$R_0$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	$R$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	$q_u$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_{\text{норм}}$ , Вт/м <sup>2</sup>
1	– шлак котельный; – доски по балкам	6,16	0,25	2,4	2,29	68,23	19,6
2	– цементно-песчаная стяжка (ЦПС); – шлак котельный; – доски по балкам	0,089	17,25	2,5	2,39	15,51	18,8
3	– минеральная вата; – шлак котельный; – доски по балкам	0,68	2,25	5,13	5,02	14,07	9,2
4	– минеральная вата; – шлак котельный; – толь; – доски по балкам	0,003	492,25	5,14	5,03	9,85	9,14
5	– керамзит; – доски по балкам	15,4	0,1	3,6	3,5	136	13,1
6	– минеральная вата; – керамзит; – доски по балкам	0,73	2,1	6,3	6,2	12,9	7,5
7	– шлак котельный; – доски по балкам; – пленка натяжного потолка	нет	-	2,05	2,39	нет	19,6
8	– армированная ЦПС; – плиты из пенополистирола; – слой рубероида; – монолитная плита из железобетона	нет	-	3,81	3,7	нет	12,34

Одно из этих энергосберегающих мероприятий – устройство цементно-песчаной стяжки по засыпному или рыхлому плитному утеплителю – относится к хорошо известным и несложным конструктивным решениям, однако во многих зданиях старой застройки оно с момента строительства до сих пор не реализовано. Это послужило причиной того, что за десятки лет эксплуатации такие дома понесли весьма большие суммарные тепловые потери, а жильцы – неоправданный рост оплаты на их отопление.

## Список литературы

1. Береговой, А.М. Энергосбережение в жилых зданиях с большим сроком эксплуатации / А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Петрянина // Известия вузов. Строительство. – 2011. – №5. – С. 59–64.
2. Береговой, А.М. Тепловая эффективность эксплуатируемых жилых зданий / А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Петрянина // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С. 107–111.
3. Езерский, В.А. Влияние вентилируемого фасада на теплозащитные качества утеплителя / В.А. Езерский, П.В. Монастырев // Жилищное строительство. – 2003. – №3. – С.18–20.
4. Ерофеев, В.Т. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения / В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина, А.А. Матвиевский, Д.В. Емельянов, П.В. Юдин // Строительные материалы. – 2007. – №11. – С. 56–58.
5. Береговой, В.А. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны / В.А. Береговой, Е.В. Королев, Ю.М. Баженов.– М.: МГСУ, 2011. – 264 с.
6. Гарькина, И.А. Системный анализ, теории идентификации и управления в строительном материаловедении: моногр. / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Ю.А. Соколова.– М.: Изд-во «Палеотип», 2008. – 240 с.

## References

1. Beregovoy, A.M. Energy savings in the residential buildings with big service-life / A.M. Beregovoy, V. A. Beregovoy. A.V. Maltsev. M. A. Petryanina // News of higher educational institutions. Construction. – 2011. – №5. – P. 59–64.
2. Beregovoy, A.M. Thermal efficiency of the residential buildings during their maintenance / A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, A.V. Maltsev, M. A. Petryanina // Regional architecture and engineering. – 2012. – № 1. – P. 107–111.
3. Ezerskiy, V.A. Influence of ventilated facade on the thermal performance qualities of heat insulation / V.A.Ezerskiy, P.V. Monastyrev // House building.– 2003.– № 3.– P. 18–20.
4. Erofeev, V.T. Composition building materials on activated water / V.T. Erofeev, E.A. Mitina, A.A. Matvievsciy, A.K. Osipov, D.V. Emelianov, P.V. Yudin //Building materials. – 2007. – №11. – P. 56–58.
5. Beregovoy, V.A. Effective thermally insulation foam ceramic concretes / V.A. Beregovoy, E.V. Korolev, Yu.M. Bazzhenov. – М.: МГСУ, 2011. – 264 p.
6. Garkina, I.A. System analysis theories of identification and management in building materials conducting: monograph / I.A. Garkina, A M Danilov, Yu.A. Socolova. – М.: Publ. House «Paleotip», 2008. – 240 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Береговой Виталий Александрович**,  
доктор технических наук, доцент кафедры  
«Технологии строительных материалов  
и деревообработки»  
E-mail: vabereg@rambler.ru

**Сорокин Дмитрий Сергеевич**,  
студент группы СУЗ-21

**Береговой Александр Маркович**,  
доктор технических наук, профессор  
E-mail: vabereg@rambler.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich**,  
Doctor of Sciences, Associate Professor of the  
department «Technology of building materials  
and wood processing»  
E-mail: vabereg@rambler.ru

**Sorokin Dmitry Sergeevich**,  
student SUZ-21

**Beregovoy Aleksandr Marcovich**,  
Doctor of Sciences, Professor  
E-mail: vabereg@rambler.ru

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ДЕКОРАТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ОПОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

В.А. Береговой, Д.С. Сорокин, А.М. Береговой

Представлены результаты разработки составов и технологии изготовления эффективных теплоизоляционных материалов из стекловидных расплавов, формируемых на основе опочного природного сырья. Исследованы свойства и показаны области рационального использования материала в строительстве.

*Ключевые слова: опочные породы, вспененные стеклокристаллические материалы, теплоизоляция строительных конструкций, декоративные элементы*

## EFFECTIVE INSULATION MATERIALS WITH CONTROLLED DECORATIVE PROPERTIES ON THE BASIS OF FLASK ROCKS

V.A. Beregovoi, D. S. Sorokin, A.M. Beregovoi

The compositions and production technology of effective insulation materials from glassy melts formed on the basis of flask rock are presented. The properties are investigated and the field of rational application on material in construction are shown.

*Keywords: flask rocks, foamglasscrystal materials, thermally insulation of structures, decorative units*

**Введение.** В Пензенской области, как и в целом ряде других регионов нашей страны, отсутствуют производственные мощности по выпуску эффективных теплоизоляционных материалов строительного назначения. Вместе с тем во многих областях имеются значительные и неиспользуемые в настоящее время запасы опоковидных кремнеземистых пород, которые при разработке соответствующих технологических решений могут стать основой для производства высококачественного утеплителя. В пределах Поволжской геологической зоны запасы кремнеземистых горных пород в виде опок, существенно превышают объемы разведанных месторождений диатомитов или трепелов. Опоковидные залежи отличаются большой толщиной, стабильностью состава и залегают близко к поверхности, что облегчает их промышленную разработку.

Известно, что по совокупности физико-механических показателей изделия из пено-стекла превосходят все современные теплоизоляционные материалы, вырабатываемые из минерального сырья. Главным недостатком, сдерживающим применение этой

группы материалов в строительстве, является достаточно высокая стоимость, которая является следствием узкой сырьевой базы, а также высокой энерго- и металлоемкости применяемых технологий [1]. В качестве традиционного сырья для производства пеностекла, как правило, используют стеклянный бой и кварцевый песок. При этом утилизация стеклянных отходов в производстве пеностекла сталкивается с проблемой бесперебойного круглогодичного обеспечения предприятия сырьем в объеме не менее 6...7 тонн ежедневно (производство пеностекла экономически целесообразно при мощности предприятия свыше 10 тыс. м<sup>3</sup> в год).

**Экспериментальная часть.** Исследования, результаты которых представлены в данной работе, направлены на расширение существующей минерально-сырьевой базы и разработку технологических принципов получения эффективных пеностеклокристаллических материалов, вырабатываемых из наиболее доступных разновидностей природных опок. В исследованиях использовали сурскую кремнистую опоку, которая характеризуется высоким содержанием аморфного опаловидного кремнезема SiO<sub>2</sub> и достаточно постоянным составом. Содержание оксидов, определяющих химический состав использованной опоки, % по массе: SiO<sub>2</sub> – 86,90; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,00; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,90; CaO – 1,29; MgO – 0,63. Фазовый состав горной породы был изучен методом рентгено-фазового анализа (РФА) с использованием дифрактометра «Дрон-7» [2]. Проведенными исследованиями установлено, что основными рентгено-идентифицируемыми компонентами горной породы являются кремнийсодержащие минералы – β-кварц (К) и γ-тридимит (Т), содержание которых составляет 34...40 % (рис. 1). Исходя из химического состава и данных РФА, можно заключить, что оставшаяся часть SiO<sub>2</sub> сформирована аморфным кремнеземом.

Другим свойством, положительно отличающим опоку от традиционного сырья, является низкая твердость, которая существенно снижает энергозатраты и уменьшает абразивный износ помольного оборудования, установленного в комплексе технологической линии.

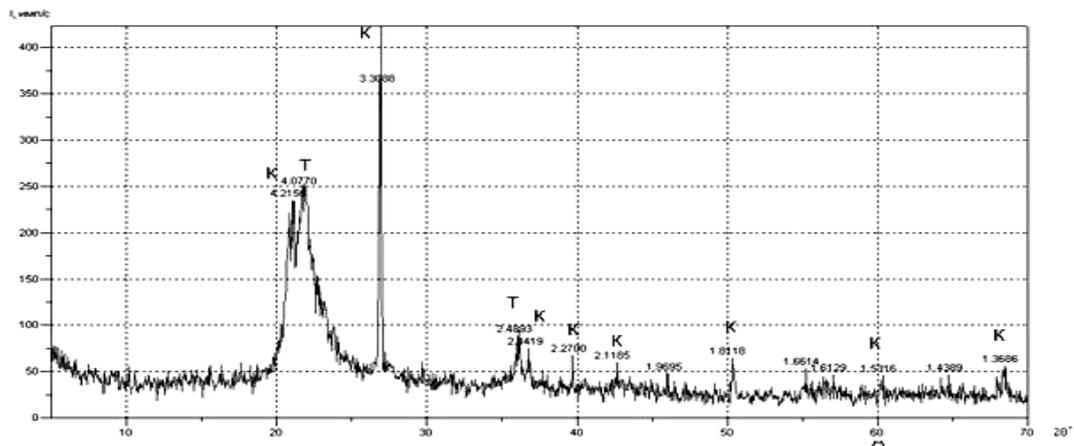


Рис. 1. Рентгенограмма сурской опоки

Важным фактором повышения конкурентоспособности ячеистых материалов, формируемых из минеральных расплавов, является снижение их стоимости за счет уменьшения удельного расхода топлива. В случае использования опочного сырья этому способствует наличие в его составе, наряду с хемогенным опалом, также естественных примесей с высокоразвитой внутренней поверхностью – кремневых остатков организмов в виде радиолярий, спикул губок, панцирей диатомей. Преобладание в составе опоки аморфного кремнезема также ускоряет физико-химические процессы взаимодействия опочной массы и вводимых флюсующих щелочесодержащих добавок, происходящие на различных этапах формирования микроструктуры материала.

Для проведения испытаний образцы пеностеклокристаллического материала (ПСкМ) изготавливали по классической технологии и по одностадийной технологии. Классическая технология состоит из двух отдельных этапов: первый – изготовление стеклогранулята; второй – высокотемпературное вспенивание сырьевой смеси, получаемой совместным помолом стеклогранулята и газообразователя. Одностадийная технология предусматривает совмещение всех основных процессов формирования структуры материала (стеклообразование, плавление, газообразование) в едином технологическом переделе, что позволяет добиться существенного снижения общих энергозатрат на производство.

Регулирование свойств и управление процессами структурообразования обжигаемого материала реализовывалось путем введения добавок-модификаторов фазового состава. Обоснование выбора вида и количества добавок осуществлялось, исходя из анализа данных, полученных в ходе петрохимических расчетов, а также диаграмм состояния исследуемых силикатных систем. В результате был составлен перечень возможных модификаторов, из которого для дальнейшей работы были опробованы следующие широко доступные и недорогие вещества: природный доломит ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), оксиды  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , бура, борная кислота, селитра, а также бой стекла предприятия ЗАО «Бахметьевская Артель» (г.Никольск). Состав стеклобоя характеризовался следующим содержанием оксидов, % по массе:  $\text{SiO}_2$  – 58;  $\text{PbO}$  – 24;  $\text{K}_2\text{O}$  – 16;  $\text{ZnO}$  – 1;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 1.

Сырьевую смесь готовили следующим образом. Сначала природную опоку измельчали до удельной поверхности  $3500\text{...}4000 \text{ см}^2/\text{г}$  и смешивали с корректирующими добавками. Общее содержание опочного компонента в составе смеси варьировалось от 55 до 65 %, а флюсующих добавок – 30...35 %. С целью придания обожженной массе определенной цветовой гаммы применяли вещества, содержащие атомы  $\text{Cr}$  (зеленый гранулят) и  $\text{Mn}$  (коричневый гранулят), при этом ее вспенивание производили при помощи газообразователя, не содержащего углерод (1...2 %).

Перед обжигом смесь для изготовления стеклогранулята увлажняли и компактировали. Окончательный фазовый состав ПСкМ синтезировался в процессе термообработки из минеральных расплавов « $k\text{Na}_2\text{O}-n\text{CaO}-m\text{SiO}_2$ » (или « $m\text{CaO}-n\text{PbO}-k\text{SiO}_2$ ») и остаточной кристаллической фазы (высокотемпературные модификации  $\text{SiO}_2$ ).

В случае использования классической технологии полученный стеклогранулят затем размалывали и смешивали с газообразующей добавкой. Из полученной массы отформовывали образцы цилиндрической формы, которые затем вспенивали (рис. 2).

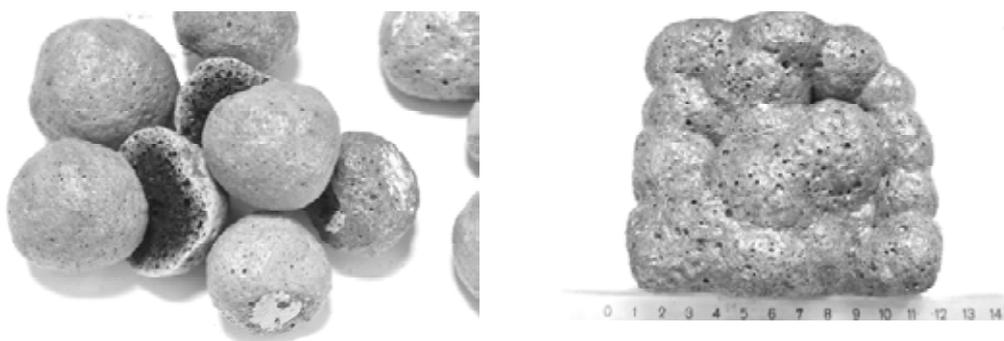


Рис. 2. Образцы разработанного материала:  
1 – в виде гранул; 2 – в виде плиты

Температурные режимы процессов спекания и вспенивания, использованные в рамках классической технологии получения ПСкМ, приведены на рис. 3.

Показатели свойств разработанного пеностеклогранулята и их сравнение с существующими промышленными аналогами показаны в табл. 1.

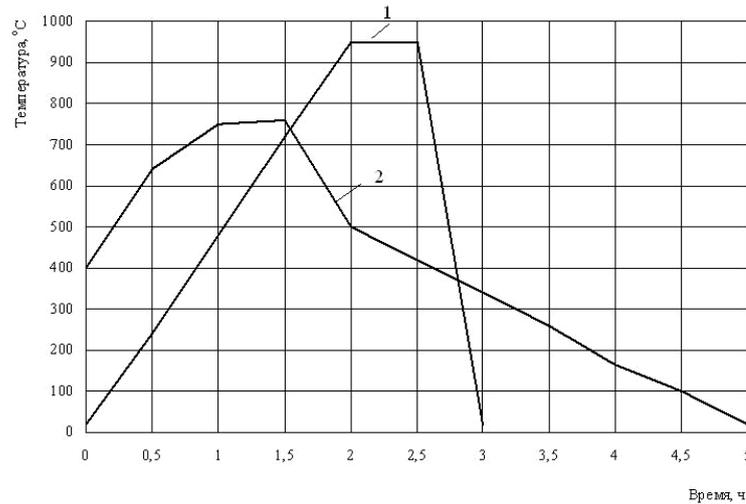


Рис. 3. Температурный режим процессов термообработки ПСкМ:  
1 – спекание; 2 – вспенивание

Т а б л и ц а 1

Показатели свойств материалов

Наименование показателя	Керамзитовый гравий	Пеностекло	Вариант состава разработанного материала	
			1	2
Прочность, МПа	0,6...4,5	0,8...1,0	1,0...1,5	1,1...1,8
Водопоглощение, мас. %	8...12	Не более 5	3,0...3,5	2,8...4,9
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	300...800	100...250	250...300	290...430
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,12...0,16	0,050...0,065	0,065...0,070	0,059...0,063
Цвет	Коричневый	Черный, темно-серый	Белый, желтый, зеленый, красный	Темно-серый

1 – на основе сурской опоки и двухкомпонентного безуглеродного газообразователя; 2 – на основе боя стекла и углеродсодержащего газообразователя

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что ПСкМ позитивно отличается по показателям плотности, теплопроводности и водопоглощения от широко используемого в настоящее время насыпного материала – керамзитового гравия и несколько уступает традиционному пеностеклу. Однако, учитывая более чем двукратное снижение стоимости, замена пеностекла на ПСкМ в качестве эффективного утеплителя является вполне обоснованной.

Пониженная теплопроводность отдельных составов ПСкМ (состав № 2 в табл.1) объясняется наличием в них PbO, высокая атомная масса которого препятствует быстрому распространению теплового потока по стекловидной фазе. Как известно, коэффициент теплопроводности зависит от рецептуры стекла и может быть рассчитан по формуле аддитивности. Согласно проведенным расчетам используемые свинецсодержащие стекла при плотности 3170 кг/м<sup>3</sup> характеризуются коэффициентом теплопроводности 0,61 Вт/(м·°С), тогда как обычные оконные стекла при плотности 2400...2600 кг/м<sup>3</sup> имеют  $\lambda = 0,82...0,97$  Вт/(м·°С).

Как показали предварительные эксперименты, при получении плитного материала целесообразно использовать в составе опочной сырьевой смеси 10...15 % наполнителя из боя свинецсодержащего стекла, что обеспечивает формирование «длинных» стекловидных связей в процессе плавления и вспучивания гранулята.

**Заключение.** Таким образом, использование природного опочного сырья, а также отходов, образующихся при производстве стекла на ЗАО «Бахметьевская Артель», дает возможность существенно расширить существующую сырьевую базу, снизить энергоемкость и упростить технологию производства пористых стекловидных материалов. Кроме того, это обеспечивает возможность комплектования технологических линий серийно производимым отечественным оборудованием.

Разработанный материал в виде гранул может использоваться в качестве насыпной теплоизоляции и выравнивающих конструкционно-теплоизоляционных слоев, применяемых в различных строительных конструкциях (эксплуатируемая плоская кровля, чердачные и междуэтажные перекрытия), а также для теплоизоляции колодцевой кладки и стен подвалов, дорожного полотна и технологического оборудования.

Использование ПСкМ в роли искусственного пористого заполнителя является альтернативой вспученному перлиту и вермикулиту в производстве теплозащитных и облегченных штукатурных смесей и найдет применение при реконструкции тепловой защиты жилых и общественных зданий [3].

#### Список литературы

1. Кетов, А.А. Опыт производства пеностеклянных материалов из стеклобоя / А.А.Кетов, И.С. Пузанов, Д.В. Саулин // Строительные материалы. – 2007. – № 3.– С. 37–41.
2. Береговой, В.А. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны / В.А. Береговой, Е.В. Королев, Ю.М. Баженов. – М.: МГСУ, 2011. – 264 с.
3. Береговой, А.М. Тепловая эффективность эксплуатируемых жилых зданий /А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Петрянина //Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1. –С. 107–111.

#### References

1. Ketov, A.A. Experience in the production of foam glassmaterials from glass breakage / A.A. Ketov, I.S. Puzanov, D.V. Saulin // Buildings materials. – 2007. – № 3.– P. 37–41.
2. Beregovoi, V.A. Efficient heat insulation foam ceramic / V.A. Beregovoi, E.V. Korolev, Y.M. Bazhenov. – M.: MGSU, 2011. – 264 p.
3. Beregovoi, A.M. Thermal efficiently of residential buildings during their maintenance / A.M. Beregovoi, V.A. Beregovoi, A.V. Maltsev, M.A. Petryanina // Regional architecture and engineering. – 2012. – № 1. – P. 107–111.

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624.74.24

*Российская академия архитектуры и  
строительных наук*

Россия, 107031, Москва,  
Большая Дмитровка, 24, стр.1  
тел.: (495) 625-79-67; факс: (495) 650-25-26

**Травуш Владимир Ильич,**  
доктор технических наук, профессор,  
академик, вице-президент РААСН  
E-mail: travush@mail.ru

*Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева*

Россия, 430006, г. Саранск,  
ул. Большевистская, д. 68  
тел.: (8342) 47-71-56

**Антошкин Василий Дмитриевич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
зав. кафедрой «Архитектура»  
E-mail: antovd@mail.ru

**Ерофеева Ирина Владимировна,**  
студентка

**Гудожников Сергей Степанович,**  
аспирант кафедры «Строительные  
материалы и технологии»

*Russian Academy of Architecture  
and Construction Sciences*

Russia, 107031, Moscow,  
24, bld.1, Bolshaya Dmitrovka  
tel.: (495) 625-79-67; fax: (495) 650-25-26

**Travush Vladimir Iljich,**  
Doctor of Sciences, Professor, Academician,  
Vice-President of RAASN  
E-mail: travush@mail.ru

*Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev*

Russia, 430006, Saransk, 68,  
Bolshevistskaya St.,  
tel.: (8342) 47-71-56

**Antoshkin Vasilij Dmitrievich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor,  
Head of the department «Architecture»  
E-mail: antovd@mail.ru

**Erofeeva Irina Vladimirovna,**  
student

**Gudozhnikov Srgei Stepanovich,**  
Postgraduate of the department «Building  
materials and technologies»

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СБОРНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

В.И. Травуш, В.Д. Антошкин, И.В. Ерофеева, С.С. Гудожников

Рассмотрены вопросы конструктивно-технологического формообразования сферических оболочек на основе геодезической сети. Исследовано несколько конструктивно-технологических методов образования треугольных сетей на сфере, которые были названы «Транеран». В каждой из них критерием оптимальности является минимальное число типоразмеров конструктивных деталей и минимальное число монтажных элементов купола, возможности укрупнительной сборки и предварительного напряжения.

*Ключевые слова: сборная сферическая оболочка, конструктивно-технологическая форма, панель, правильный шестиугольник, разрезка, купол*

## CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF SPHERICAL SHELLS

V.I. Travush, V.D. Antoshkin, I.V. Erofeev, S.S. Gudozhnikov

The problems of constructive and technology forming of spherical shells based on geodetic network are discussed. Several design and technological methods of making triangular area networks, which have been called «Traneran» are investigated. In each of them the optimal criterion is a minimum number of standard sizes of structural components and a minimal number of dome components, the possibility of pre-assembly and pre-tension.

*Keywords: team spherical shell, constructive and technological forms, panel, a regular hexagon, cutting the dome*

В современных исследованиях в области куполостроения наибольшую проработку получили сетчатые купола на основе сеток с треугольными ячейками, а также геодезические системы куполов, стержни которых являются ребрами многоугольников, вписанных в сферу, использующих разрезы М.С.Туполева, Г. Н.Павлова [1, 2]. При этом во всех конструктивных схемах куполов просматривается тенденция анализа и разработки уже на стадии разрезки и формообразования этих покрытий эффективных технологических решений изготовления отдельных элементов, стендовой укрупнительной сборки сегментов куполов, возведения их с обеспечением заданной точности монтажа покрытия в целом или основных его несущих конструкций. Учитывая, что не все возможности разбиения сферы на панели или стержни еще исчерпаны и то, что преобладающее количество сетчатых куполов построено на сфере, дальнейшее рассмотрение вопросов формообразования сетчатых куполов нами проводилось, исходя из построений на сфере.

С учетом вышесказанного, предлагаемые авторами геометрические схемы членения сферической оболочки разработаны путем использования в качестве исходной основы сферических правильных треугольников (так называемых треугольников Мёбиуса) – граней икосаэдра. Сферические части – многогранники геодезической или кристаллической разрезки – имеют оси симметрии (вращения и зеркально поворотные), поэтому для вариантов построения сферических сетей выполнялись разрезы только внутри совместимых сегментов граней, составляющих одну шестую часть этой грани (так называемые сферические треугольники Шварца) икосаэдра (внутренние углы в градусах 36-90-60).

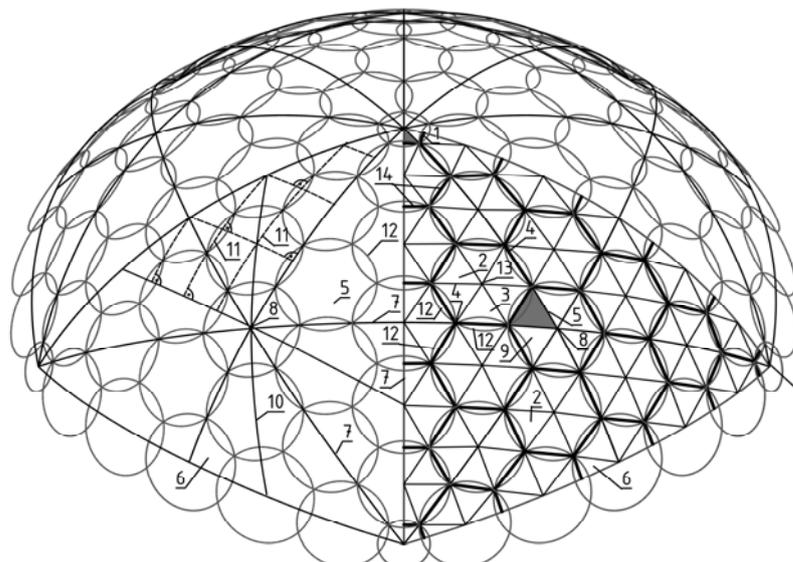
Одним из критериев оптимальности разрезки является минимум типоразмеров основных составляющих оболочки. Кроме этого, для соответствующих условий могут быть и другие критерии, как, например, максимум числа однотипных монтажных элементов, возможности укрупнительной сборки или максимум эстетического качества по одному или нескольким эстетическим признакам при минимуме сборных деталей. Каждая разновидность разрезки, как геометрическая основа, имеет свои технологические и конструктивные возможности и будет оптимальна только для определенного вида куполов или оболочек. Отсюда следует, что должны быть предложены, рассчитаны и проработаны параметры нескольких типов разрезов, чтобы в конкретной проектной ситуации можно было выбирать тот вариант, который был бы оптимален для конкретного проектируемого здания или сооружения.

Нами предложены и исследованы несколько конструктивно-технологических подходов к образованиям треугольных сетей на сфере, которые подаются здесь под названием «Транеран». В каждой из них критерием оптимальности является минимальное число типоразмеров конструктивных деталей и минимальное число монтажных элементов купола, возможности укрупнительной сборки и предварительного напряжения.

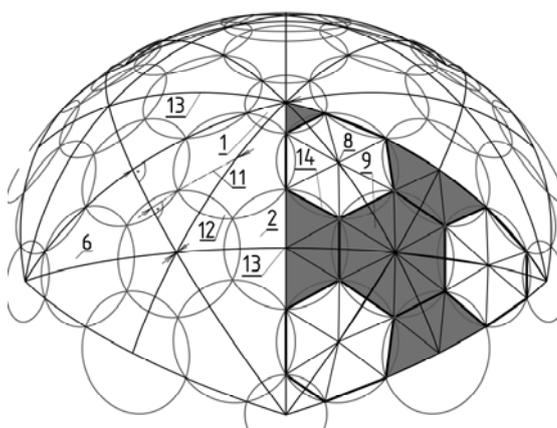
Суть предложенных вариантов (рис. 1–3) разрезов «Транеран» [3] заключается в том, что сборная сферическая оболочка монтируется из пяти-, шестиугольных панелей с углами, лежащими на сфере. Разнотипные марки таких панелей одинаковым образом расположены в пределах каждой треугольной грани правильного сферического 20-гранника – икосаэдра – и имеют на вершинах 20-гранника панели в виде правильных сферических пятиугольников. Пятиугольные и шестиугольные панели, составлен-

ные, в свою очередь, из треугольных панелей, с углами, лежащими на сфере, одинаковым образом полностью и частично расположены в пределах сферических треугольных сегментов, составляющих одну шестую часть граней сферического правильного 20-гранника. Стороны этих сегментов являются осями симметрии для пятиугольников и шестиугольников панелей. На центрах граней 20-гранника (рис. 1, а, б, в) могут быть выполнены панели в виде правильных шестиугольников, на серединах ребер правильного 20-гранника расположены шестиугольные панели (см. рис. 1, а, б).

а



б



в

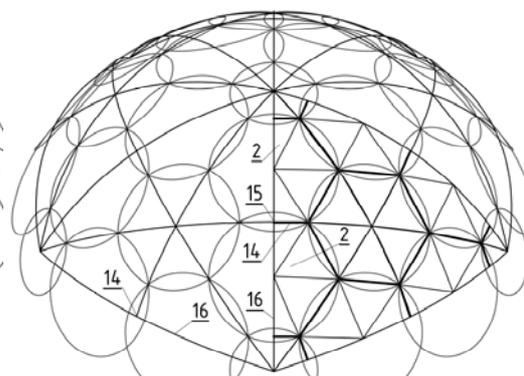


Рис. 1. Схемы разрезов сборной сферической оболочки на основе деления 180 и 540-гранника(условно базовых):

а – 2160-гранник ; б – 720-гранник; в – собственно 540-гранник;

- 1 – панель в виде правильного плоского пятиугольника; 2 – панели в виде плоских шестиугольников; 3 – панели в виде треугольника; 4 – узлы(и углы шестиугольников) соединения панелей; 5 – сферические треугольные сегменты, составляющие одну шестую часть грани правильного сферического 20-гранника; 6 – грани правильного 20-гранника; 7 – стороны сферического треугольного сегмента; 8 – центр грани правильного 20-гранника; 9 – панели в виде правильных плоских шестиугольников (окрашено серым цветом); 10 – дополнительные оси, проходящие через центр грани сферического 20-гранника; 11 – оси, проходящие не через центр грани сферического 20-гранника

В качестве примера более подробного описания в одном из вариантов разрезов в сборных сферических оболочках на рис. 1, а, б, в приводятся соединенные между собой панели в виде правильных пятиугольников 1 (окрашено серым цветом) и шестиугольные панели 2, составленные из треугольных панелей 3, с углами 4, лежащими на

сфере, панели одинаковым образом расположены внутри сферических сегментов 5, составляющих одну шестую часть граней 6 правильного 20-гранника, а стороны этих сегментов 5 являются осями симметрии 7, на центрах 8 граней 6 правильного 20-гранника выполнены панели в виде правильных шестиугольников 9 (окрашено серым цветом). Через центры 8 граней 6 правильного 20-гранника проходят дополнительные оси симметрии 10, являющиеся главными окружностями сферы в пределах каждого сферического сегмента 5.

Внутри этих сегментов 5 могут быть дополнительные чередующиеся оси симметрии 11, являющиеся главными окружностями сферы, которые не совпадают с центрами 8 граней 6 сферического правильного 20-гранника, шестиугольные панели 2 выполнены с углами 4, описанными окружностями 12 со своими радиусами из центров 13 панелей 1 и 2, которые лежат на сфере и могут быть размещены на осях симметрии 7 и 11; при этом каждый угол 4 пятиугольных 1 и шестиугольных 2 панелей принадлежит трём смежным панелям и выполнен в точке пересечения соответствующих трех окружностей 12, а шестиугольные панели, расположенные симметрично относительно дополнительных осей 11, имеют равные радиусы и длины ребер 14.

В сборной сферической оболочке (рис. 2, а, б, в) на центрах 8 граней 6 правильного 20-гранника, могут быть расположены углы 4, принадлежащие трем смежным шестиугольным 2 панелям. В сборной сферической оболочке (рис. 2, б) на серединах 15 ребер 16 граней 6 правильного 20-гранника могут быть расположены ребра 14, принадлежащие двум смежным шестиугольным панелям 2.

На общем виде оболочки (рис. 2, в), в местах расположения пятиугольных 1 и шестиугольных 2 панелей, по форме окружностей, которыми панели описаны, показано, как могут быть выполнены панели в виде сферических кругов увеличенного радиуса 17, причем смежные круговые панели соединены внахлест 18 по углам 4 и открытому контуру 19 панелей.

В сборной сферической оболочке, пятиугольные 1 и шестиугольные 2 панели могут быть выполнены в виде плоских панелей 1 и 2, описанных окружностями с центрами 13, лежащими в плоскости панелей, и соединены по всей длине прямолинейных смежных ребер 14. На сферических треугольных сегментах 5 (рис. 3 и 4), каждый из которых составляет одну шестую часть грани 6 правильного 20-гранника, на центрах 8 граней 6 правильного 20-гранника, могут быть расположены центры 13 шестиугольных 2 панелей. На сферических сегментах 5 (рис. 3, 4, 5) могут быть дополнительные чередующиеся оси симметрии 11, являющиеся главными окружностями сферы (показаны вне сферического треугольника разными стрелками), которые не совпадают с центрами 8 граней 6 сферического правильного 20-гранника, шестиугольные панели 2 выполнены с углами 4, описанными окружностями 12 со своими радиусами из центров 13 панелей 1 и 2, лежащих на сфере, при этом каждый угол 4 пятиугольных 1 и шестиугольных 2 панелей будет принадлежат трём смежным панелям и выполнен в точке пересечения соответствующих трех окружностей 12, а шестиугольные панели, расположенные симметрично относительно дополнительных осей 11, имеют равные радиусы и длины ребер 14. На сферических треугольных сегментах 5 (рис. 5, а, б, в, г, д, е) на центрах 8 граней 6 правильного 20-гранника, могут быть расположены углы 4, принадлежащие трем смежным шестиугольным 2 панелям.

На сферических сегментах 5 (рис. 3, а, в, г; 5, в, г), каждый из которых составляет одну шестую часть грани 6 правильного 20-гранника, на серединах 15 ребер 16 граней 6 правильного 20-гранника могут быть расположены ребра 14, принадлежащие двум смежным шестиугольным панелям 2.

На сферических треугольных сегментах рис. 3,а показана разрезка 180-гранника на сфере, имеющего ребра трех типоразмеров; на рис. 3,б – разрезка 720-гранника на сфере, имеющего ребра 6-ти типоразмеров; на рис. 3,в – разрезка 1620-гранника на сфере, имеющего ребра 10-ти типоразмеров; на рис. 3,г – тоже разрезка 1620-гранника на сфере с другими дополнительными осями. Число ребер  $N$  последующих многогранников может быть определено из формулы  $N = 180 n^2$  (где  $n$  – условное число членений ребер на подоснове в виде 180-гранника).

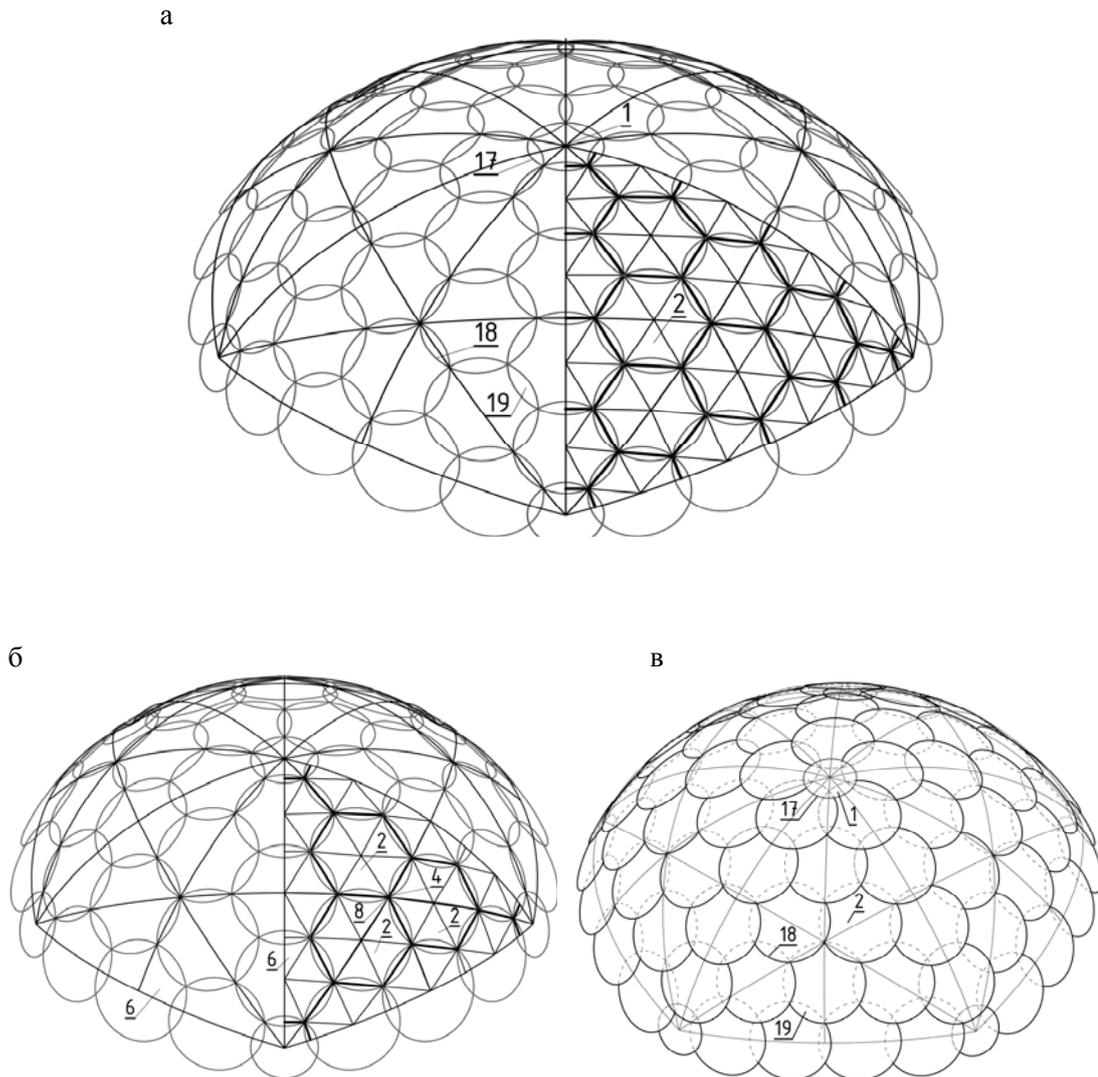


Рис. 2. Схемы разрезов сборной сферической оболочки на основе деления 240 и 1500-гранника(условно базовых):  
 а – собственно 1500-гранник ; б – 960-гранник; в – 960-гранник чешуйчатой конструкции;  
 1 – панель в виде правильного плоского пятиугольника; 2 – панели в виде плоских шестиугольников; 3 – панели в виде треугольника; 4 – узлы (и углы шестиугольников) соединения панелей; 5 – сферические треугольные сегменты, составляющие одну шестую часть грани правильного сферического 20-гранника; 6 – грани правильного 20-гранника; 7 – стороны сферического треугольного сегмента; 8 – центр грани правильного 20-гранника; 9 – панели в виде правильных плоских шестиугольников

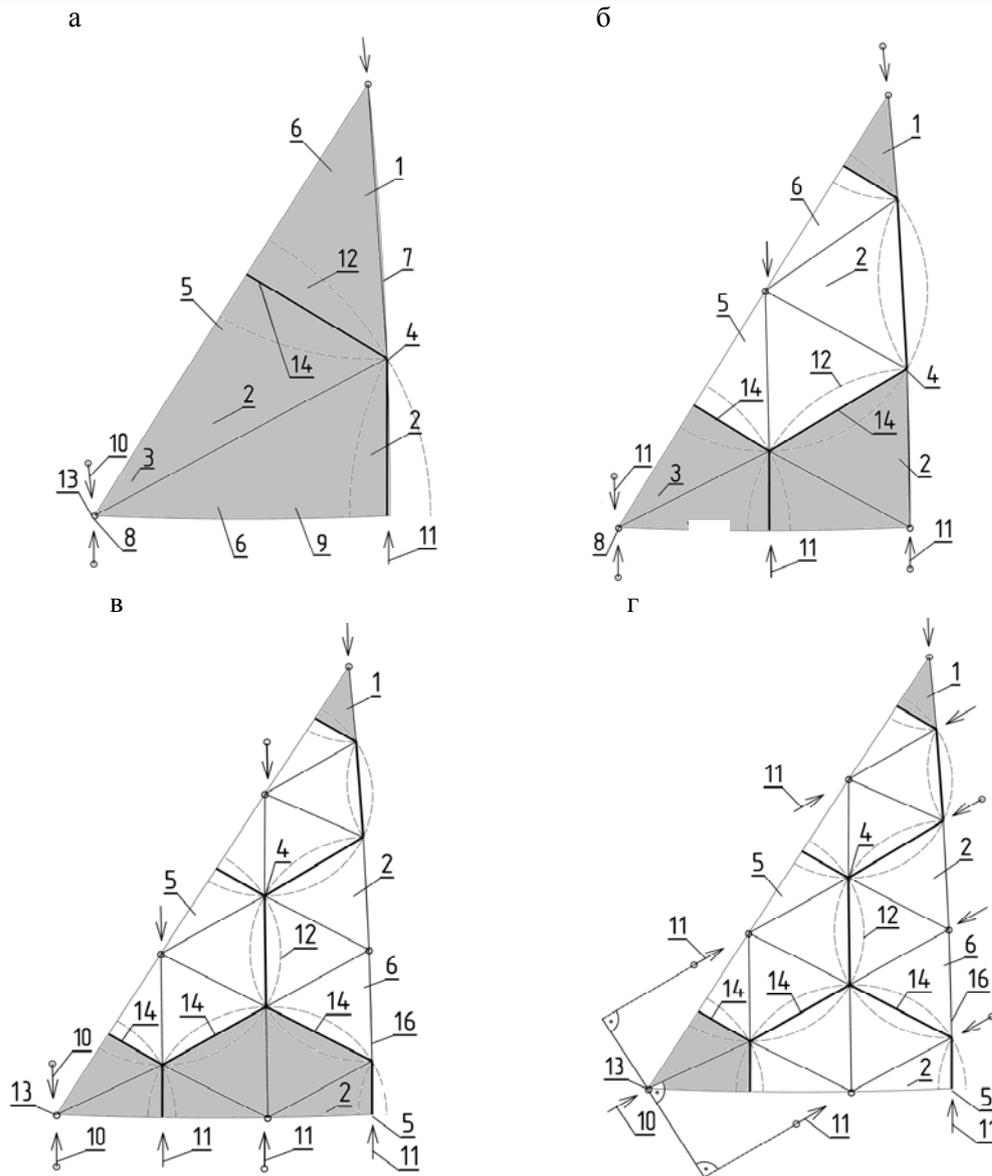


Рис. 3. Совместимые сегменты сборной сферической оболочки:

а – 180-гранника; б – 720-гранника; в – 1620-гранника;

1 – панель в виде правильного плоского пятиугольника (окрашено серым цветом); 2 – панели в виде плоских шестиугольников; 3 – панели в виде треугольника; 4 – узлы соединения панелей; 5 – сферические треугольные сегменты, составляющие одну шестую часть грани правильного сферического 20-гранника; 6 – грани правильного 20-гранника; 7 – стороны сферического треугольного сегмента; 8 – центр грани правильного 20-гранника; 9 – панели в виде правильных плоских шестиугольников (окрашено серым цветом)

Из множества решений может быть выбрано оптимальное решение разрезки сферы и системы координат, исходя из критерия минимума типоразмеров элементов и сборных панелей. После размещения окружностей, затем оптимизации параметров, треугольной сети, положение центров либо углов шестиугольников будет совпадать с положением сторон треугольных сферических сегментов, составляющих одну шестую часть грани сферического 20-гранника, либо с дополнительными осями симметрии в виде главных линий сферы для остальных шестиугольников. Однако на переходе к пятиугольной панели центры шестиугольных панелей, в основном, становятся привязанными к сторонам сегментов – осям симметрии, которые являются главными ограничениями. Это вызвано также необходимостью не только снижения числа типоразмеров за счет равных радиусов окружностей и использования правильных шестиугольников, но и обеспечения в переходных шестиугольниках углов близких к  $60^\circ$ .

На сферических треугольных сегментах на рис. 4,а показана разрезка 540-гранника на сфере, имеющего ребра 5-ти типоразмеров, на рис. 4,б – разрезка 2160-гранника, имеющего ребра 12-ти типоразмеров; на рис. 4,в также показана разрезка 2160-гранника на сфере, но с другим расположением осей симметрии; на рис. 4,г показана разрезка 2160-гранника на сфере с третьим расположением осей симметрии.

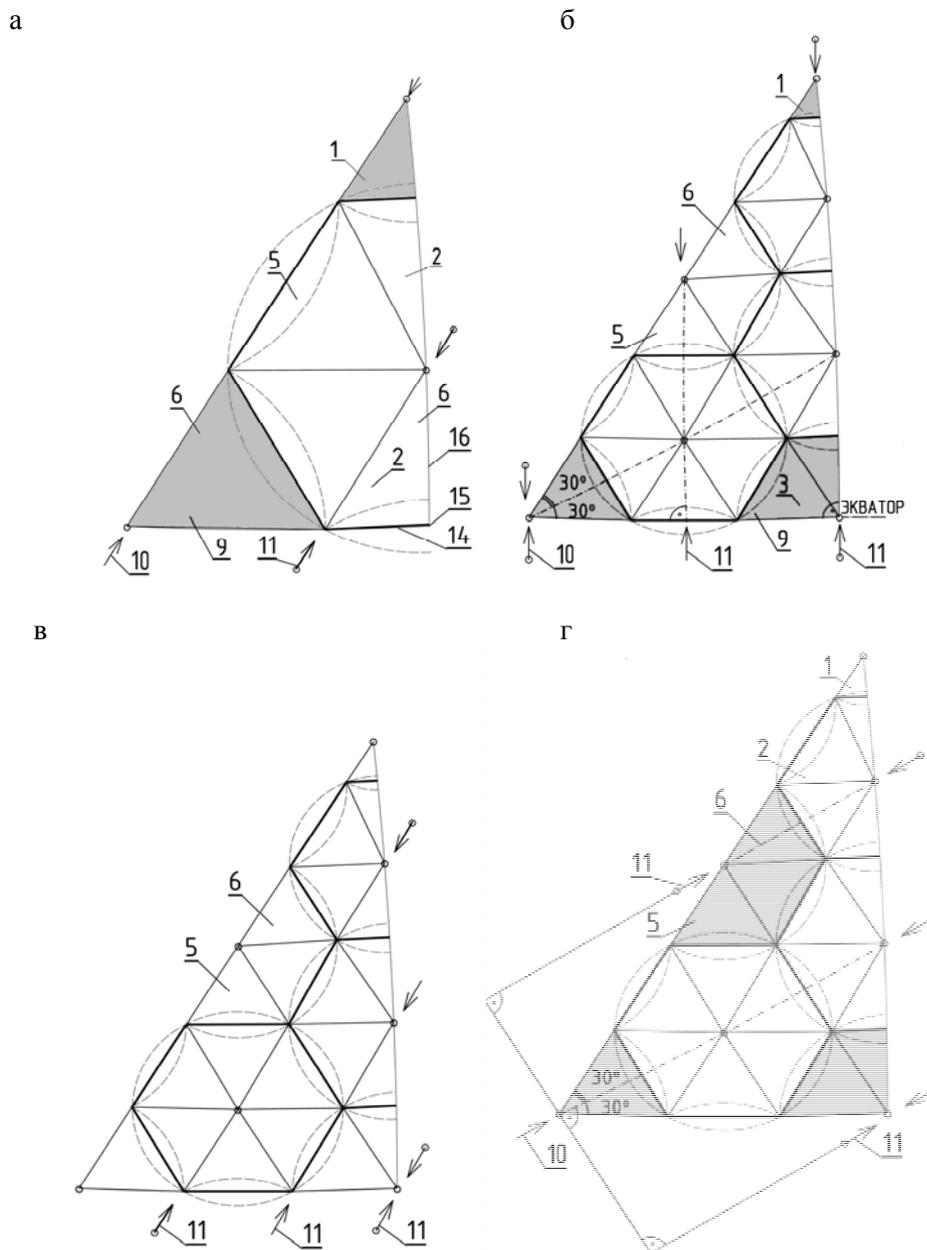


Рис. 4. Сегменты сборной сферической оболочки:

а – 540-гранника; б – 2160-гранника; в – 2160-гранника с другими дополнительными осями;  
г – 2160-гранника с третьими дополнительными осями;

1 – панель в виде правильного плоского пятиугольника (окрашено серым цветом); 2 – панели в виде плоских шестиугольников; 3 – панели в виде треугольника; 4 – узлы соединения панелей; 5 – сферические треугольные сегменты, составляющие одну шестую часть грани правильного сферического 20-гранника; 6 – грани правильного 20-гранника; 7 – стороны сферического треугольного сегмента; 8 – центр грани правильного 20-гранника; 9 – панели в виде правильных плоских шестиугольников (окрашено серым цветом)

Число ребер  $N$  последующих многогранников, может быть определено из формулы  $N = 540 n^2$  (где  $n$  – условное число членений ребер на подоснове в виде 540-гранника).

На сферических сегментах на рис. 5,а показана разрезка 240-гранника на сфере, имеющего ребра 4-х типоразмеров; на рис. 5,б – разрезка 960-гранника на сфере, имеющего ребра 7-ми типоразмеров; на рис. 5,в – разрезка 1500-гранника на сфере; на рис. 5,г – тоже разрезка 1500-гранника на сфере, но с другим расположением осей симметрии и имеющего ребра 8-ми типоразмеров; на рис. 5,д – разрезка 2940-гранника на сфере; на рис. 5,е – тоже разрезка 2940-гранника на сфере, имеющего ребра 14-ти типоразмеров, но с другим расположением осей симметрии. Число ребер  $N$  последующих многогранников может быть определено из формулы  $N = 240 n^2$  (где  $n$  – условное число членений ребер на подоснове в виде 240-гранника, например: 240, 960, 2160, 3860 и т.д.).

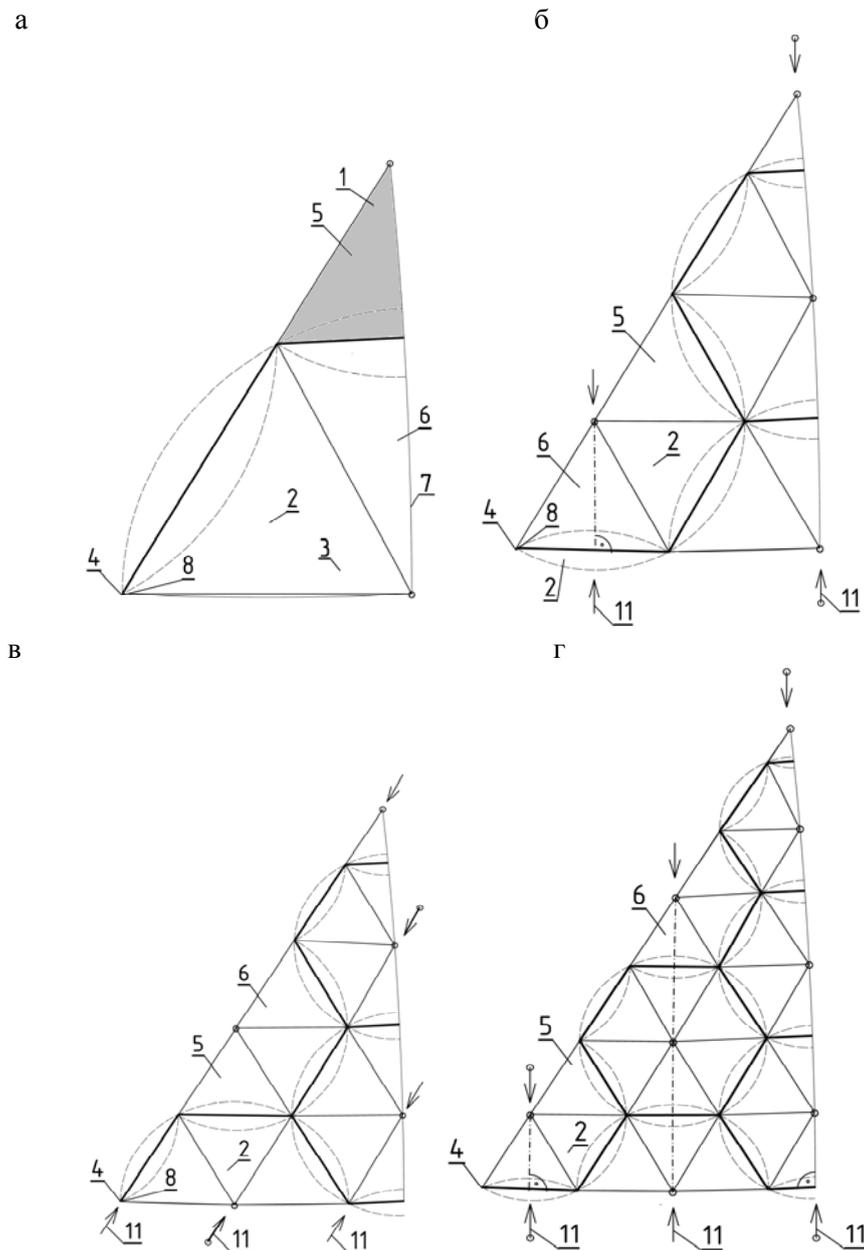


Рис. 5. Сегменты сборной сферической оболочки:  
 а – 240-гранника; б – 960-гранника; в – 1500-гранника;  
 г – 1500-гранник с другими дополнительными осями;

- 1 – панели в виде правильного плоского пятиугольника; 2 – панели в виде плоских шестиугольников; 3 – панели в виде треугольника; 4 – узлы соединения панелей;
- 5 – сферические треугольные сегменты, составляющие одну шестую часть грани правильного сферического 20-гранника; 6 – грани правильного 20-гранника; 7 – стороны сферического треугольного сегмента; 8 – центр грани правильного 20-гранника

Совокупность разрезов, полученных применением данных способов разбивки с последующим делением, образует семейство или систему разрезов одного вида. На основе разбиения сферы с помощью сегментов, составляющих одну шестую часть грани икосаэдра, составлены следующие три базовые системы, которые представляют два способа разбивки сферы:

- однопоясная (одноуровневая) система из плоских или пространственных шести- и пятиугольников (система «20П180М» — рис. 3);
- однопоясная система из плоских или пространственных шести- и пятиугольников («20П540М» — рис. 4);
- двухпоясная система, состоящая из пяти- и шестигранных пирамид, вершины которых соединены стержнями (система «20ППСМ» — рис. 8, 9).

Для разработки алгоритма геометрического расчета разрезов, предлагаемых конструктивно-технологических систем, воспользуемся повторяемостью параметров сети на любом сферическом треугольнике Шварца (икосаэдра, октаэдра или тетраэдра) и, соответственно, на любом совместимом сферическом треугольнике или в сферическом секторе. При решении указанной проблемы предложены также автоматизированные средства в системах AvtoCAD и LIRA 9.4, дополненных специальными программными элементами.

Наиболее эффективные разрезы получаются для членений до 4000 треугольных граней. Мы проанализировали все из них, но в данной работе и наиболее подробно приведем разрезку 1620-гранника (10 типоразмеров ребер, но 5 монтажных элементов в виде панелей). Для части подобных типов разрезов эффективные решения получены Р.Б. Фуллером (США), у которого число типов ребер  $M$  определяется по формуле  $M = 2m$ , где  $m$  – число членений ребер основы 60-гранника (1500-гранник – 10 типоразмеров). Для подобных разрезов эффективные решения получены М.С. Туполевым (СССР), у которого число типов ребер  $N$  определяется по формуле  $N = n(n+1)3/2$ , где  $n$  – число членений ребер основы 180-гранника (1620-гранник – 18 типоразмеров).

На рис. 6 показано расположение панелей в одном из эффективнейших вариантов разрезки – 1620-граннике, реализующем все конструктивно-технологические возможности предложенного способа разбивки сферы.

На рис. 7,а показано расположение линии вспомогательного экватора сферы, проведенного по короткой стороне треугольника Шварца или посередине стороны ребра грани икосаэдра. Дополнительные меридиональные оси – главные линии (окружности) выполнены, соответственно, под прямыми углами к экватору. Меридианы здесь будут располагаться с равным шагом, поэтому первый ряд окружностей дает правильные шестиугольники, второй ряд равных окружностей дает два неправильных шестиугольника, но одного радиуса (см. рис. 7). Третий ряд, а точнее, одна окружность выполнена с центром, смещенным по длинной стороне треугольника Шварца, и дает неправильный шестиугольник (см. рис. 7,а).

На рис. 7,б показаны длины ребер разрезки в виде 1620-гранника, составляющие 10 типоразмеров и которые позволяют собирать этот купол из двух правильных пятиугольной и шестиугольных панелей, трех неправильных шестиугольных панелей. Определялись координаты для оболочки в виде 1620-гранника (см. таблицу) – для купола со сферическим диаметром 44 м, что позволило вычертить основные архитектурно-строительные чертежи покрытия здания, монтажные схемы (рис. 8) и их фрагменты в любом ракурсе, выполнить конструирование купола, а также все статические и динамические расчеты.

## Координаты 1620-гранника для пролета 42 м и диаметра сферы 44.0 м

Номер узла	X, м	Y, м	Z, м	Номер узла	X, м	Y, м	Z, м
1	1.168E-05	4.235E-05	0	41	-2.725939	8.3903466	-1.8462966
2	2.0245031	-5.35E-05	-0.0933466	42	-5.527444	7.2830034	-1.9898635
3	0.6256576	1.9254001	-0.093346	43	-8.276224	6.0133714	-2.5232513
4	-1.637825	1.1900171	-0.0933472	44	-8.634458	3.0068077	-1.9898671
5	-1.63789	-1.189928	-0.0933486	45	-8.822054	0.0002396	-1.8463036
6	0.6255535	-1.925434	-0.0933482	46	-8.634621	-3.006338	-1.9898706
7	3.2834876	-2.385726	-0.3776245	47	-8.276549	-6.012921	-2.5232583
8	4.5702323	-0.000121	-0.4799361	48	-5.527838	-7.282702	-1.989872
9	3.2836144	2.3855518	-0.3776217	49	-2.726392	-8.390197	-1.8463064
10	1.412396	4.3465115	-0.4799347	50	0.1909531	-9.141022	-1.989871
11	-1.254101	3.8600792	-0.3776225	51	3.1610423	-9.729558	-2.5232564
12	-3.697323	2.686415	-0.4799375	52	6.0858953	-10.09412	-3.4239191
13	-4.058692	0.00011	-0.3776257	53	8.0832061	-7.77327	-3.0728161
14	-3.697468	-2.686215	-0.4799406	54	9.8903893	-5.286034	-3.072814
15	-1.25431	-3.860011	-0.3776269	55	11.480584	-2.669381	-3.4239128
16	1.4121608	-4.346587	-0.4799397	56	12.845464	-0.000339	-4.1395815
17	4.2723075	-4.841327	-0.9688549	57	11.480726	2.6687743	-3.4239098
...	...	...	...	...	...	...	...
193	17.476061	7.104312	-10.681125	238	19.084215	6.4274003	-13.14098
194	16.007038	9.7290587	-10.46219	239	17.812364	9.140553	-12.880188
195	14.199986	12.216391	-10.462189	240	16.163927	11.743119	-12.789809
196	12.157774	14.424715	-10.681122	241	14.198261	14.115218	-12.880186
197	9.8870962	16.361972	-11.112758	242	12.011031	16.163346	-13.140976
198	7.800056	17.773645	-11.643471	243	9.821217	17.733469	-13.451978
199	6.0811586	18.714171	-12.161284	244	7.4134522	18.963629	-13.667993
200	4.1377276	18.963717	-11.643472	245	5.1500102	19.699141	-13.667992
201	1.6195295	19.048508	-11.112739	246	2.4790402	20.119313	-13.451975
202	-1.356179	18.816076	-10.681116	247	-0.21545	20.136342	-13.140972
203	-4.306414	18.230044	-10.46218	248	-3.188836	19.765152	-12.880179
204	-7.230418	17.280065	-10.462179	249	-6.173418	19.001634	-12.789799
205	-9.961752	16.020204	-10.681108	250	-9.036845	17.865194	-12.880177
206	-12.50586	14.45932	-11.112749	251	-11.66062	16.417923	-13.140967
207	-14.49337	12.910669	-11.643481	252	-13.83059	14.820482	-13.451968
208	-15.91903	11.566539	-12.161292	253	-15.74459	12.910694	-13.667992
209	-16.75693	9.7953272	-11.643484	254	-17.14354	10.985316	-13.667993
210	-17.61574	7.4265807	-11.112752	255	-18.36852	8.5749117	-13.451977
211	-18.31422	4.524677	-10.681122	256	-19.21736	6.0175608	-13.140976
212	-18.66854	1.5377383	-10.462185	257	-19.78316	3.0749989	-12.880186
213	-18.66862	-1.536717	-10.462187	258	-19.9793	0.0005517	-12.789809
214	-18.31446	-4.523664	-10.681125	259	-19.78333	-3.073906	-12.880188
215	-17.61614	-7.425615	-11.112761	260	-16.75745	-9.794401	-11.643496

При возведении купола проводится сначала сборка пятиугольных и шестиугольных панелей (рис. 9,а). Монтаж купола по первому варианту (см. рис. 8) проводится последовательным соединением к панели П1 (желтого цвета), подвешенной на монтажной высоте, следующих рядов панелей П2-П5, и затем порисходит установка на опоры или опорный контур. Монтаж купола по второму варианту проводится последовательным соединением к панелям П5, установленным на опорный контур панелей П4-П2 с их временным раскреплением опорами и завершением монтажа панели П1. Ограждение купола устанавливаются сразу на каркас панелей либо кровельное покрытие выполняют по завершению сборки всего каркаса купола (рис. 9,б).

Для наглядности и оценки влияния точности изготовления элементов на форму купола была выполнена модель сборной сферической оболочки с разрезкой 1620-гранника на сфере из пяти- и шестиугольных панелей (рис. 10).

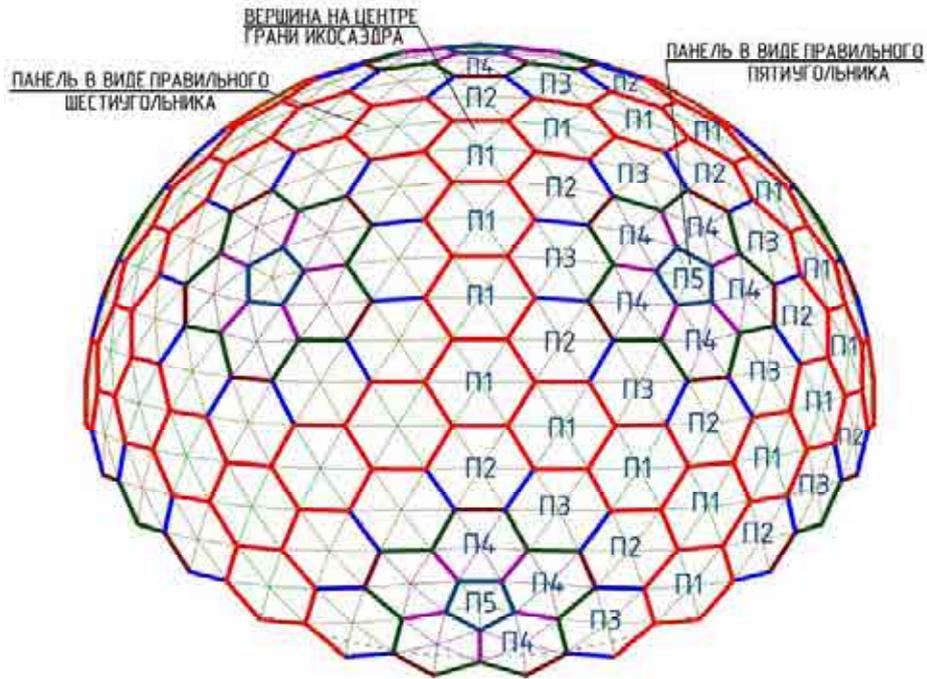


Рис. 6. Схема сборной оболочки с разрезкой 1620-гранника, состоящего из ребер 10-ти типоразмеров ребер или из двух правильных пятиугольной и шестиугольных панелей, трех неправильных шестиугольных панелей П1-П5

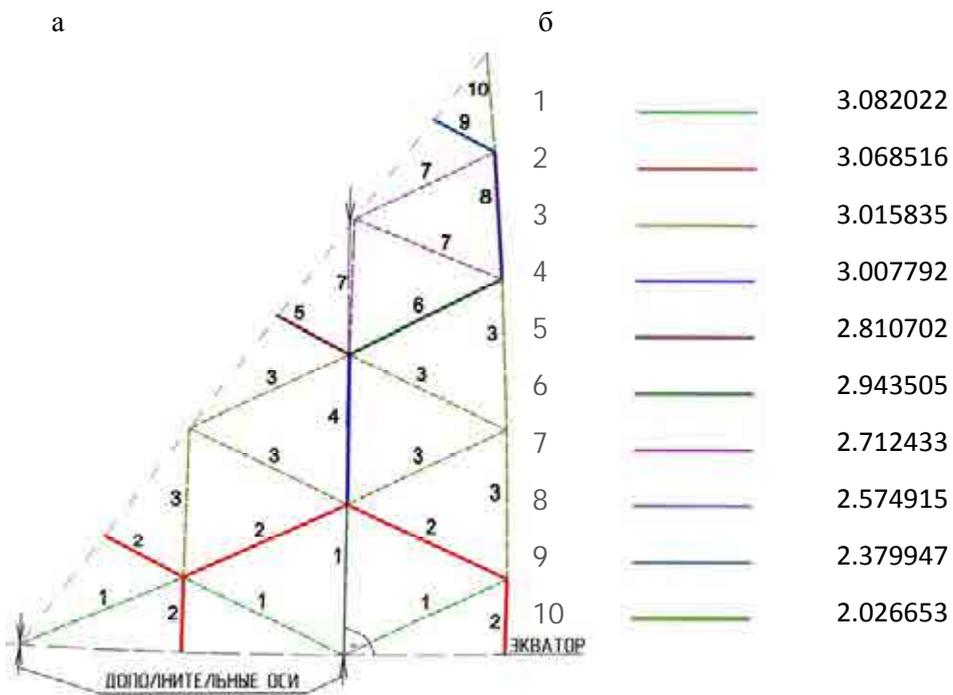


Рис. 7. Сегмент сборной сферической оболочки в виде 1620-гранника:  
 а – схема расположения панелей и элементов; цифрами пронумерованы ребра, радиусы – пунктиром; б – номера и длины ребер в м, для диаметра сферы – 44 м

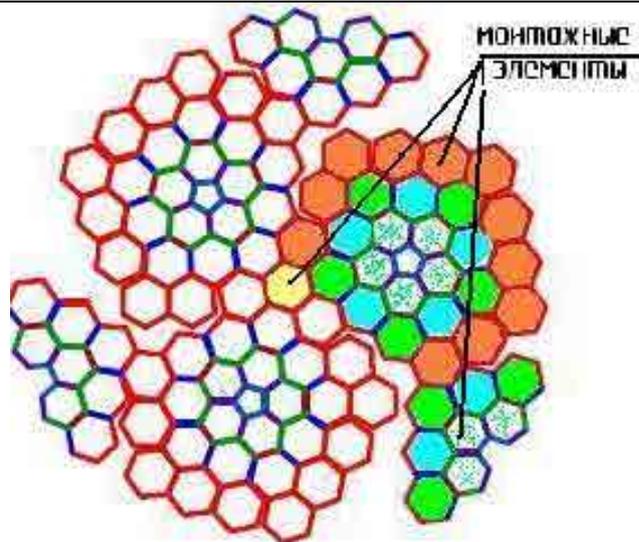


Рис. 8. Монтажные блоки сборной сферической оболочки

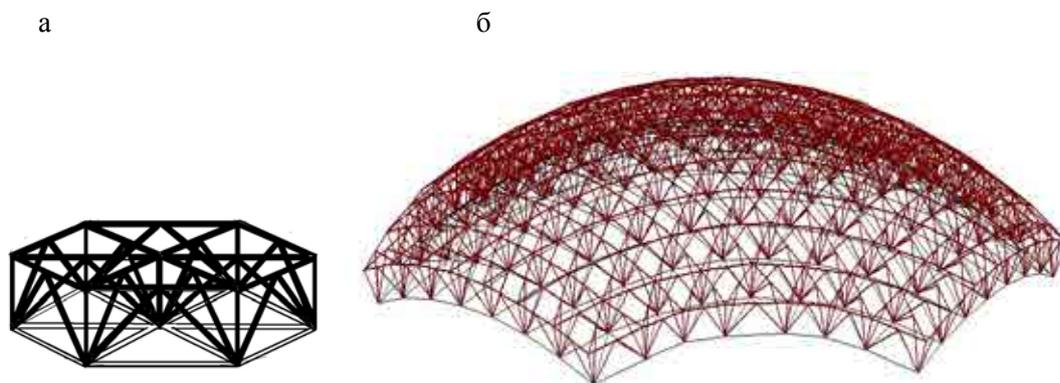


Рис. 9. Сборная сферическая оболочка из пирамидальных стержневых панелей (толстыми линиями показаны сжатые или сжато-изгибаемые элементы каркаса панелей):  
 а – шестиугольная двухуровневая панель; б – схема каркаса двухуровневой (двухпоясной) разрезки сборной оболочки на основе 1620-гранника



Рис. 10. Модель оболочки с разрезкой 1620-гранника на сфере

По приведенным рисункам и схемам можно получить визуальное представление о специфических возможностях существующих геодезических оболочек и предлагаемых конструктивно-технологических решений сферических оболочек.

**Выводы.** Разработанные сборные сферические оболочки системы «Транеран» могут применяться для покрытий зданий различного назначения, а также для устройства сферических отражателей в зеркальных антеннах и концентраторах энергии. По сравнению с аналогами, предлагаемые оболочки имеют максимум однотипных монтажных элементов, обладают возможностью укрупнительной сборки и максимумом эстетических качеств при минимуме сборных деталей.

#### Список литературы

1. Павлов, Г.Н. Композиционное формообразование кристаллических куполов и оболочек / Г.Н. Павлов // Архитектура СССР. – 1977. – № 7. – С. 32.
2. Туполев, М.С. Геометрия сборных сферических куполов / М.С. Туполев // Архитектура СССР. – 1969. – № 1. – С. 15.
3. Травуш, В.И. Патент на полезную модель №129534 от 27.06.13 г. Сборная сферическая оболочка / В.И. Травуш, В.Д. Антошкин, В.Т. Ерофеев.
4. Травуш, В.И. Патент на изобретение RU №2012116363 от 20.02.14 г. Сборная сферическая оболочка / В.И. Травуш, В.Д. Антошкин, В.Т. Ерофеев.

#### References

1. Pavlov, G.N. Compositional shape forming of crystal domes and shells / G.N. Pavlov // Architecture of the USSR. – 1977. – № 7. – P.32.
2. Tupolev, M.S. Geometry of team spherical domes / M. S. Tupolev// Architecture of the USSR. – 1969. – № 1.– P.15.
3. Travush, V.I. Patent for a useful model №129534, date of 27.06.13. Team spherical shell / V.I. Travush, V.D. Antoshkin, V.T. Erofeev.
4. Travush, V.I. Patent for an invention RU №2012116363, date of 20.02.14. Team spherical shell / V.I. Travush, V.D. Antoshkin, V.T. Erofeev.

Московский государственный  
строительный университет

Россия, 129337 г. Москва, Ярославское  
шоссе, 26

**Капустин Дмитрий Егорович**,  
аспирант кафедры «Испытание  
сооружений»  
E-mail: Kde90@bk.ru

**Рогачев Константин Викторович**,  
аспирант  
E-mail: rogachevkv@ioes.ru

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Капустин Андрей Егорович**,  
студент  
E-mail: Kde88@bk.ru

Moscow State University of Civil Engineering

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe  
shosse, 26

**Kapustin Dmitrii Egorovich**,  
Postgraduate of the department «Test  
facilities»  
E-mail: Kde90@bk.ru

**Rogachev Konstantin Viktorovich**,  
Postgraduate  
E-mail: rogachevkv@ioes.ru

Penza State University of Architecture  
and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Kapustin Andrey Egorovich**,  
студент  
E-mail: Kde88@bk.ru

## О ПРИМЕНЕНИИ НЕСЪЕМНОЙ СТАЛЕФИБРОБЕТОННОЙ ОПАЛУБКИ

Д.Е. Капустин, К.В. Рогачев, А.Е. Капустин

Рассматриваются вопросы изготовления опалубки из фибробетона. Показан опыт применения фибробетонной опалубки в различных отраслях строительства. Представлены результаты совместных разработок ЗАО «Институт «Оргэнергострой» и МГСУ.

*Ключевые слова:* сталефибробетон, несъемная опалубка, сборно-монолитный метод строительства

## APPLICATION OF PERMANENT FIBER REINFORCED CONCRETE FORMWORK

D.E. Kapustin, K.V. Rogachev, A.E. Kapustin

Fiber reinforced concrete is one of the perspective material for formwork production. The use of fiber reinforced formwork is shown. The results of contribution development of this issue by JSC "Institute "Orgenergostroy" and MSU of CI are shown.

*Keywords:* steel fiber reinforced concrete, permanent formwork, precast monolithic construction method

Одной из актуальных проблем строительства является повышение технологичности строительно-монтажных работ, сокращение сроков строительства с одновременным уменьшением расхода материалов. Она может быть решена благодаря применению несъемной опалубки. Это подтверждает анализ литературы и наличие большого числа патентов, посвященных конструкции несъемной опалубки, первый из которых зарегистрирован еще в 1947 году [0]. Также представлен обширный перечень материалов для ее изготовления, призванных решать различные задачи: повышение прочности, снижение собственного веса, обеспечение декоративности поверхности и др.

В гражданском строительстве, как правило, малоэтажном, в качестве несъемной опалубки обычно применяют: железобетонные предварительно напряженные плиты перекрытия, гипсокартонные, цементно-стружечные, полиуретановые листы. При возведении объектов повышенного уровня ответственности (атомные электростанции, мосты и др.) применяют несъемную несущую и самонесущую железобетонную

опалубку. Это позволяет повысить технологичность процесса строительства и прочностные характеристики с одновременным сокращением материалоемкости и площади поперечного сечения несущих элементов.

Однако некоторые материалы, применяемые для изготовления несъемной опалубки, обладают рядом недостатков. Например, полиуретановые, цементно-стружечные и гипсокартонные листы обладают низкими прочностными, деформационными и эксплуатационными характеристиками. Применение несъемной стальной опалубки способствует увеличению расхода металла, требует установки дополнительных элементов для обеспечения жесткости листов. Также при применении опалубки из металла невозможно контролировать качество укладки и уплотнения уложенного в нее бетона. Недостатками применения железобетонной опалубки являются значительный вес, недостаточная пожаростойкость, необходимость в ряде случаев, например для перекрытий, применения предварительно-напряженной арматуры. Общим недостатком всех типов несъемной опалубки является отсутствие специализированной отечественной линии для их производства.

Материалом, обладающим достаточными прочностными, деформационными и эксплуатационными характеристиками для изготовления несъемной опалубки, является фибробетон (фибра – бетонная мелкозернистая смесь). Фибробетон – композитный строительный материал, свойства которого зависят от составляющих его компонентов, а именно прочности бетона-матрицы и характеристик армирующего материала (прочностных и геометрических характеристик, интенсивности армирования). К сожалению, фибробетон не пользуется достаточным спросом на строительном рынке. Связано это, в первую очередь, с малой изученностью в нашей стране физико-механических характеристик этого материала и отсутствием нормативной базы, описывающей технологию изготовления и особенности поведения композита при воздействии нагрузок и эксплуатационных факторов.

При правильном подборе состава на цементе М500 и кварцевом песке с добавлением микрокремнезема и суперпластификатора могут быть получены фибробетоны с достаточно высокими физико-механическими показателями: прочность на сжатие до 120 МПа, растяжение при изгибе до 30 МПа, модуль упругости до 60 ГПа, морозостойкость F1000 и выше, водопроницаемость V20, ударная вязкость до 68 кДж/м<sup>2</sup> (в 10 раз выше, чем у бетона).

Первый патент на применение конструкции с несъемной фибробетонной опалубкой зарегистрирован в 1992 году и принадлежит группе ученых во главе с А.С. Бочарниковым [2]. Целью изобретения является повышение прочности конструкций за счет дополнительного анкерующего слоя, образованного на внутренней стороне фибробетонных панелей опалубки. Авторы патента утверждают, что применение несъемной фибробетонной опалубки с дополнительным анкерующим слоем приводит к повышению прочности конструкций в 1,36 раза, что позволяет уменьшить его толщину. Листы изготавливались методом раздельного бетонирования на виброплощадке. Для изготовления конструкций панели устанавливаются рядом друг напротив друга анкерующим слоем внутрь, крепятся между собой элементами крепления. Затем конструкцию заполняют бетоном омоноличивания, который проникает в ячейки армокаркаса, за счет чего повышается адгезия между бетоном омоноличивания и листом опалубки. Применение раздельного бетонирования, а также волокон фибры с отношением  $l/d \geq 150$  при изготовлении несъемной опалубки способствует увеличению прочностных характеристик и снижению трудоемкости до 50 % по сравнению с бетонированием смешанных компонентов [3].

Рабинович Ф.Н. также выделяет эффективность применения дисперсно-армированных бетонов в тонкостенных элементах несъемной опалубки [4]. ЦНИИПромзданий разработало номенклатуру, включающую четыре типа подобной опалубки: плиты фибробетонные плоские и профилированные, плиты плоские и профилированные армоопалубочные. Для каждого типа опалубки была разработана технология изготовления. Основными областями применения несъемной фибробетонной опалубки

являются: монолитные фундаментные плиты, конструкции нулевого цикла, стены зданий.

Для обеспечения устойчивости в проектном положении фибробетонных плит опалубки разработаны различные решения, в зависимости от типа и густоты армирования конструкций: шпильки, анкера, дополнительно устроенный поддерживающий каркас.

Для повышения индустриальности целесообразно изготовление на заводе армоопалубочной плиты, состоящей из листа опалубки с прикрепленной с помощью фиксаторов арматурной сеткой [5]. Также может быть рекомендована укрупненная сборка из опалубочных карт на стенде с использованием металлических плоских рам, выполненных из уголков с опорным контуром, обеспечивающим восприятие нагрузки [11].

ЦНИИПромзданий совместно с Карагандинским ПСП разработаны Технические условия (ТУ 7-792-86) «Плиты сталефибробетонные для несъемной опалубки», включающие технические требования и методы контроля качества. В 1986 году ТУ были утверждены и введены в действие Минтяжстроем СССР. Первая технологическая линия для изготовления рассматриваемых плит несъемной опалубки была сооружена трестом Казметаллургстрой при научно-технической помощи ЦНИИПромзданий и Карагандинского ПСП на производственной базе в г. Темиртау.

Технико-экономическое сравнение, приведенное в [6], показывает, что применение несъемной опалубки позволяет сократить трудоемкость опалубочных работ в 2–3 раза, по сравнению со съемной щитовой опалубкой. К наиболее рациональным следует отнести сталефибробетонную несъемную опалубку толщиной до 30 мм.

Некоторые варианты армоблоков с несъемной фибробетонной опалубкой представлены в руководстве по конструкциям опалубок и производству опалубочных работ [7].

Белорусское государственное предприятие «БелдорНИИ» выпустило нормативный документ по применению несъемной опалубки. Одним из видов несъемной опалубки является фибробетонная опалубка толщиной до 50 мм. Авторы утверждают, что ее применение способствует снижению материалоемкости, трудозатрат, сроков строительства, а также обеспечивает дополнительную защиту бетона конструкций [8]. Опытное внедрение подобных конструкций было проведено при ремонте опоры-стенки моста через р. Бобр.

Применение несъемной фибробетонной опалубки также возможно при устройстве защитной оболочки реакторного отделения при строительстве АЭС [9].

Анализируя вышеперечисленный как практический, так и теоретический опыт применения несъемной опалубки из фибробетона, можно с уверенностью утверждать, что использование тонкостенной дисперсноармированной бетонной опалубки является перспективным направлением в области промышленного и гражданского строительства. ЗАО «Институт «Оргэнергострой» совместно с МГСУ ведет интенсивные работы по внедрению сборно-монолитного метода строительства с использованием армоблоков, состоящих из армокаркаса с жестко закрепленными с двух сторон листами несъемной сталефибробетонной опалубки [11, 12].

В качестве несъемной опалубки в армоблоках наиболее эффективно применять сталефибробетонные листы толщиной 20–25 мм, обеспечивающие требуемую прочность [12]. Листы опалубки изготавливают по стандартной для бетонных и железобетонных изделий технологии на основе цементно-песчаной матрицы с вводимыми в нее при перемешивании волокнами стальной фибры.

Укладка самоуплотняющейся сталефибробетонной смеси на поддон из ламинированной фанеры позволяет получать гладкую лицевую поверхность. Таким образом, поверхность готова под окраску без дополнительной обработки. При этом верхняя поверхность листов не требует обработки, обеспечивая адгезию с укладываемым в конструкцию бетоном класса В35. Повысить адгезию листов опалубки можно путем создания на поверхности рифления методом накатки, увеличивающим площадь их контакта с бетоном. Кроме того, ее можно обеспечить за счет установки при формировании закладных деталей с анкерными выпусками.

При выполнении приведенных выше требований к матрице и фибре получают сталефибробетоны, прочностные и эксплуатационные характеристики которых, как правило, в 2–4 раз превышают аналогичные показатели обычных тяжелых бетонов, что позволяет в несколько раз увеличить долговечность конструкций.

Арматурные каркасы выполняют из уголков гнутого профиля в виде двух плоских продольных рам, которые объединяют рабочую арматуру и обеспечивают передачу усилий от рабочей арматуры одного армоблока к другому равнопрочными сварными швами. К рамам армокаркасов крепится несъемная сталефибробетонная опалубка, образуя армоблок, воспринимающий транспортные и монтажные нагрузки, а также усилия от собственного веса и давления бетонной смеси при бетонировании. Большая пространственная жесткость армоблока обеспечивает требуемую точность их монтажа, соответствующую точности монтажа металлоконструкций.

На рис. 1 представлены фрагменты помещения с двумя вариантами стыковки армоблоков. На рис. 2 представлен армоблок внутренней стены размером 6×4 м с устроенными проходками под дверной проем и технологическое оборудование.



Рис. 1. Фрагменты помещений из армоблоков с несъемной сталефибробетонной опалубкой с различными вариантами стыков:  
а – через уголок; б – петлевой стык

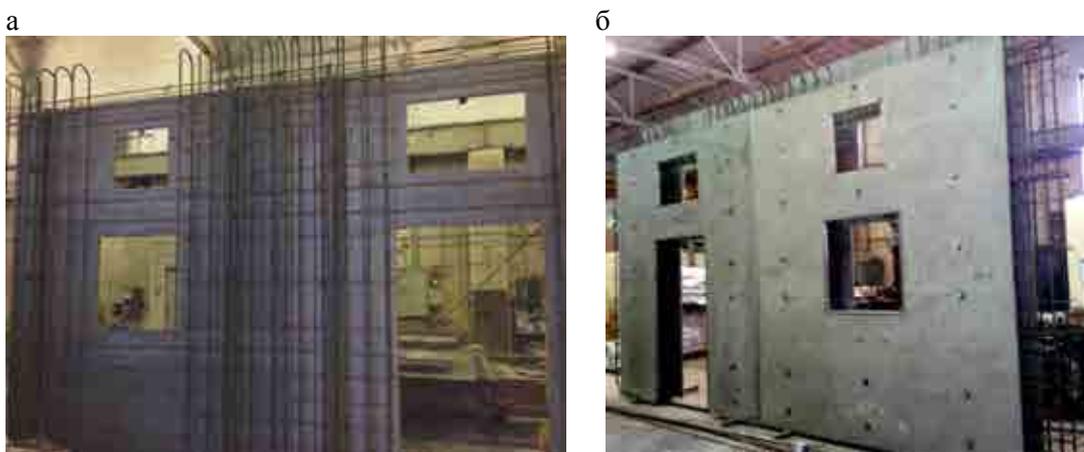


Рис. 2. Армоблок внутренней стены с дверным проемом и проходками для кабелей и трубопроводов:  
а – на стадии сборки; б – готовый к транспортировке и монтажу фрагмент

Высокие прочностные и эксплуатационные характеристики сталефибробетона позволяют в ряде случаев отказаться от установки конструктивной и рабочей стержневой арматуры, от устройства защитного слоя арматуры, наружной и внутренней гидроизоляции.

Железобетонные конструкции жилых и производственных зданий, в отличие от энергетических объектов, не требуют столь мощного армирования. Как показали оценочные расчеты специалистов ЗАО «Институт «Оргэнергострой», листы несъемной сталефибробетонной опалубки с армированием по объему 3 % позволяют исклю-

читать применение стержневой арматуры в армоблоках как стен, так и перекрытий. В этом случае на более толстый внутренний лист наружной стеновой панели можно опирать панель перекрытия, внешний же лист использовать как защитный слой, а между ними укладывать теплоизоляционный или звукопоглощающий бетон.

На рис. 3 приведен пример армоблока наружной стеновой панели жилого здания.

Шпильки, соединяющие наружный и внутренний листы несъемной сталефибробетонной опалубки, предотвращают также потерю листами местной устойчивости. Для обеспечения возможности свободной планировки в жилых зданиях целесообразно применять несущий каркас в виде колонн и безбалочных перекрытий. Безбалочные многопустотные перекрытия позволяют снизить их собственный вес и повысить несущую способность. В гражданских зданиях они могут быть выполнены без применения рабочей и конструктивной стержневой арматуры.

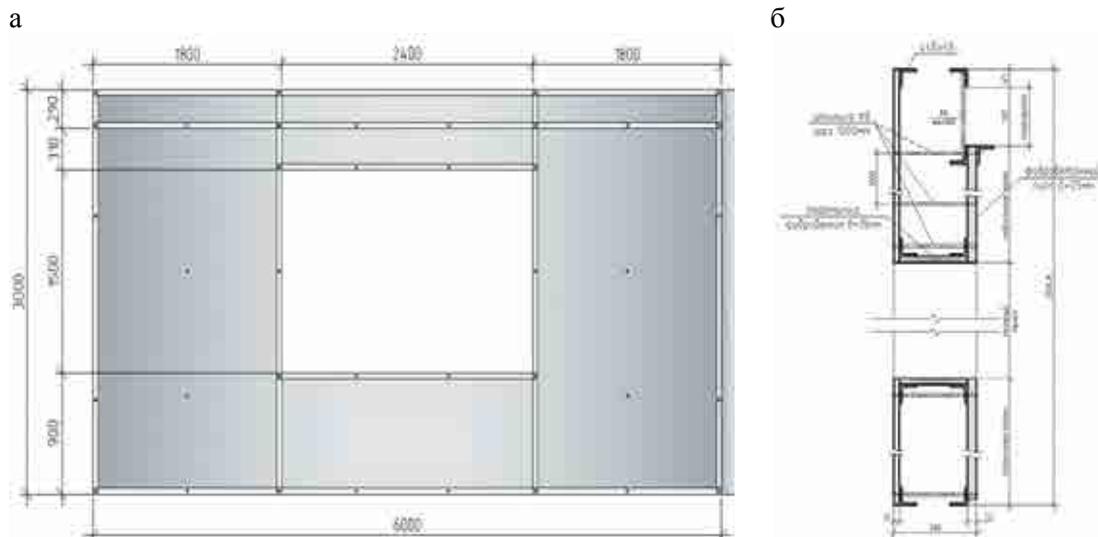


Рис. 3. Эскиз стеновой панели жилого здания с использованием несъемной сталефибробетонной опалубки:  
а – фасад; б – разрез

Объединение сталефибробетонных элементов многопустотного перекрытия в единую конструкцию можно осуществлять несколькими способами, в том числе пристреливаемыми анкерами.

Армоблоки колонн с несущей сталефибробетонной опалубкой без стержневой арматуры можно применять в гражданских и промышленных зданиях, где расчетный процент армирования, как правило, не превышает 1 % (рис. 4). При необходимости интенсивного армирования возможна установка стержневой рабочей арматуры непосредственно в листы опалубки, что позволит избежать трудоемких работ по монтажу армокаркаса.

Армоблоки колонн с армокаркасом и с несущей несъемной сталефибробетонной опалубкой применяют в тяжело нагруженных промышленных зданиях.

В промышленных зданиях безбалочное перекрытие (рис. 5, б) выполняется путем раскладки на листах несъемной сталефибробетонной опалубки арматурных сеток и пустообразователей с последующим омоноличиванием сталефибробетоном.

Выпуск армоблоков с несъемной сталефибробетонной опалубкой может осуществляться предприятиями стройиндустрии (заводами сборного железобетона) после относительно небольшой их модернизации. При этом на бетоносмесительном узле дополнительно устанавливают питатель для подачи фибры в бетоносмеситель. Арматурный цех уменьшается, а на вы-свободившихся площадях проводится сборка армоблоков. В формовочных цехах изготавливаются листы несъемной опалубки.

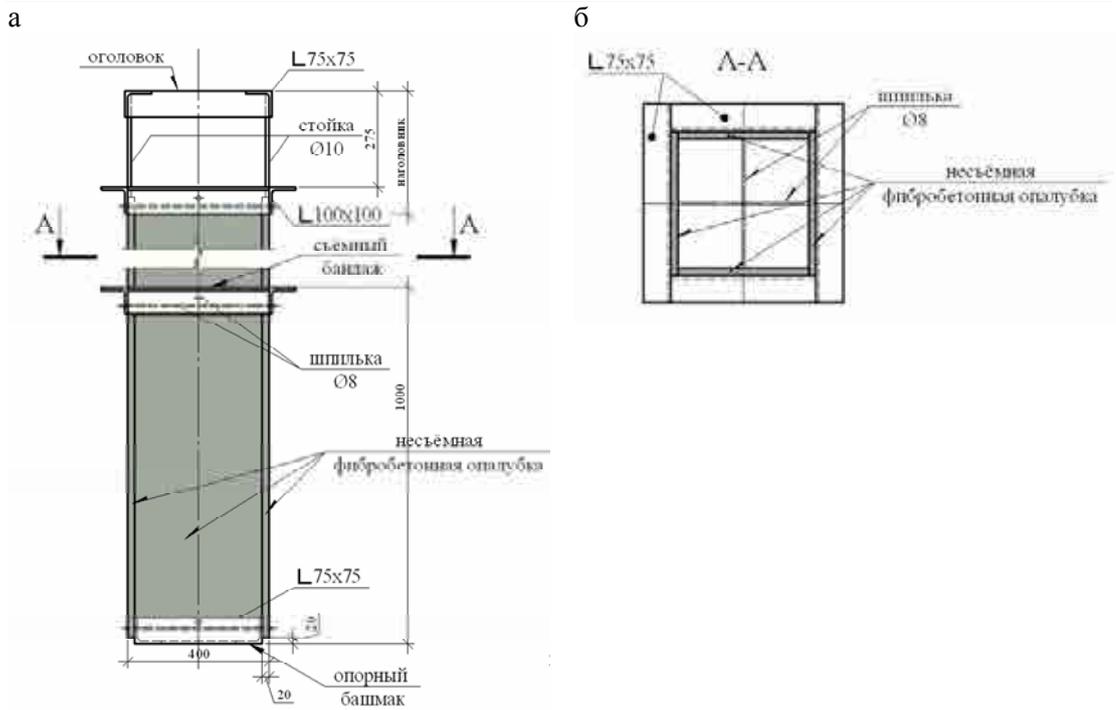


Рис. 4. Армоблок колонны с несущей несъемной сталефибробетонной опалубкой:  
а – внешний вид; б – сечение колонны

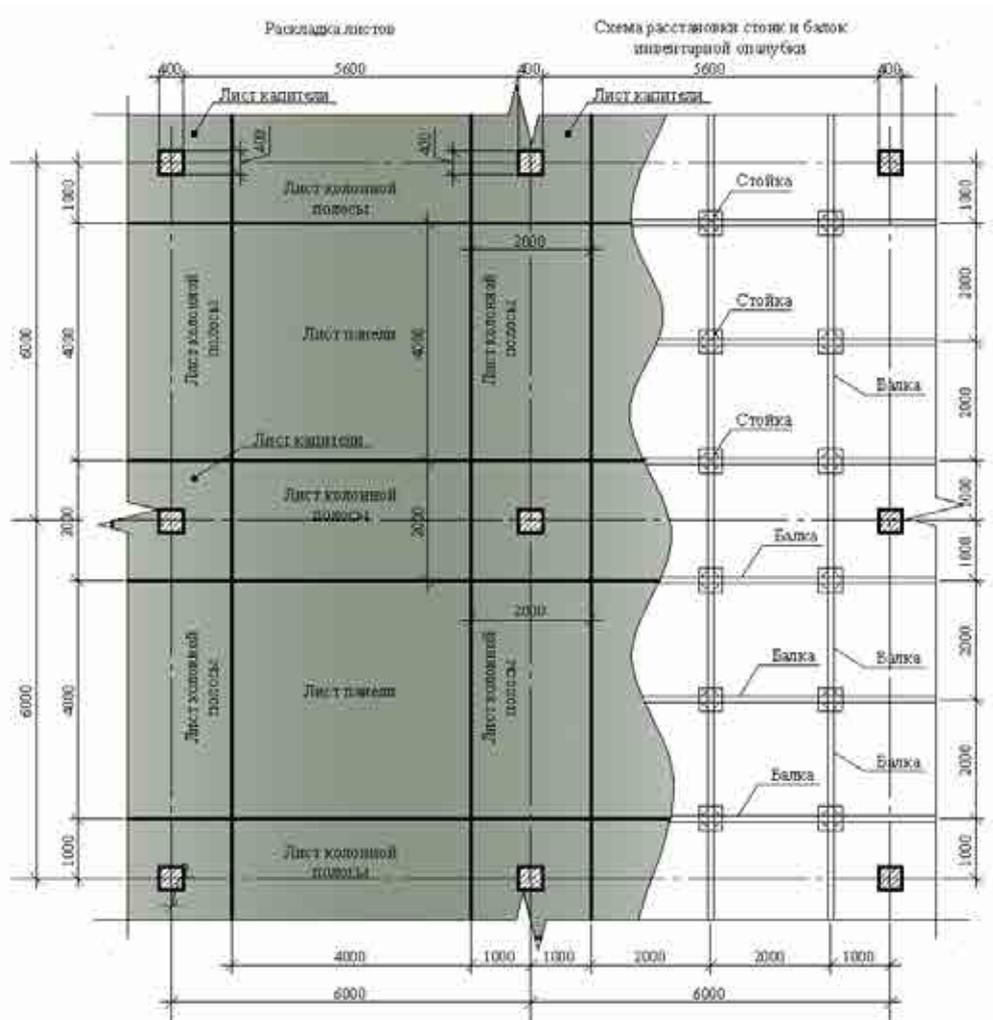


Рис. 5. Фрагмент безбалочного перекрытия

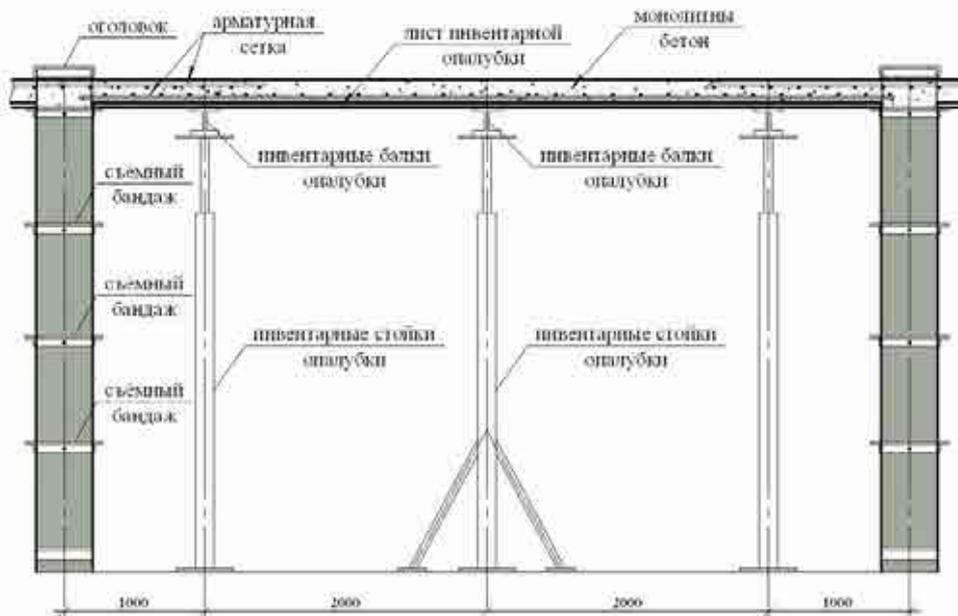


Рис. 6. Схема монтажа здания с несущими колоннами и безбалочным перекрытием

Опыт ЗАО «Институт «Оргэнергострой» позволяет с уверенностью утверждать об экономической эффективности и надежности строительных конструкций с использованием несъемной опалубки из сталефибробетона. Характеристики сталефибробетона позволяют использовать его не только в роли опалубки, но и в качестве несущего и защитного элемента.

#### Список литературы

1. Железобетонная опалубка: патент SU 68849/ Н.В. Озеров, К.К. Якобсон, Г.И. Зингоренко. – 1947.
2. Несъемная фибробетонная опалубка: патент SU 1728432 A1. / А.С. Бочарников [и др.]. – 1992 г. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/172/1728432.html>
3. Бочарников, А.С. Структурообразование, технологии применение сталефибробетонных изделий / А.С. Бочарников [и др.] // Технологии бетонов. – 2007. – №2(13). – С.50–54.
4. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф.Н. Рабинович. – М.: Издательство АСБ, 2011. – 642 с
5. Армоопалубочная плита: патент SU 1199890 А / Ф.А. Гофштейн, Ф.Н. Рабинович, Ю.В. Фролов, А.И. Туголуков. – 1985.
6. Туголуков, А.М. Совершенствование несъемной опалубки для монолитных конструкций / А.М. Туголуков, Ф.Н. Рабинович, Ю.В. Фролов // Промышленное строительство. – 1983. – №11. – С.17–21.
7. Руководство по конструкциям опалубок и производству опалубочных работ «ЦНИИОМТП». – М., 1983. – 500 с.
8. ДМД 02191.2.033-2009 «Рекомендации по изготовлению и применению элементов несъемной опалубки для бетонирования конструкций мостовых сооружений на автомобильных дорогах».
9. СТО СРО-С 60542960 000014-2013 «Работы бетонные при строительстве защитной оболочки реакторной установки атомных станций». – М., 2013. – С.10.
10. Дорф, В.А. Перспективы возведения зданий и сооружений АЭС из армоблоков с несъемной сталефибробетонной опалубкой / В.А. Дорф, Р.О. Красновский // Атомное строительство. – 2013. – № 15. – С. 21–27.

11. Dorf, V.A. Перспективы развития одного из направлений сборно-монолитного строительства при возведении жилых и общественных зданий / В.А. Dorf, Р.О. Красновский, Д.Е. Капустин, К.В. Рогачев // Архитектура и строительство России. – 2013. – № 12. – С. 10–15.

12. Dorf, V.A. Влияние на прочность сталефибробетона содержания фибры и ее характеристик / В.А. Dorf [и др.] // Международная научная конференция «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании». – М.: МГСУ, 2013. – С. 579–585.

#### References

1. Concrete formwork: patent of SU 68849 / N.V. Ozerov, K.K. Jacobson, G.I. Zingorenko. – 1947.

2. Bocharnikov, A.S. Removable fiber-reinforced concrete formwork: patent SU 1728432 A1/ A.S. Bocharnikov [etc.]. – 1992. – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/172/1728432.html>

3. Structure forming, technology, application steelfiber concrete products / A.S. Bocharnikov [etc.] // Concrete technology. – 2007. – № 2 ( 13). – P.50–54.

4. Rabinovich, F.N. Composites based on dispersion -reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, construction / F.N. Rabinovich. – М.: Publisher CRS, 2011. – 642 p.

5. Gofshtein, F.A. Fiber reinforced stove: patent SU 1199890 A / F.A. Gofshtein, F.N. Rabinovich, U.V. Frolov, A.I. Tugolukov. – 1985.

6. Tugolukov, A.M. Improving permanent formwork for monolithic structures / A.M. Tugolukov, F.N. Rabinovich, U.V. Frolov // Industrial Construction. – 1983. – № 11. – P.17–21.

7. Guide formwork structures and production of formwork. – М., TSNIOMTP, 1983. – 500 p.

8. DMD 02191.2.033-2009 «Recommendations regarding the production and use of permanent formwork elements for concrete structures of bridges on the roads».

9. STO SRO -C 60542960 000014-2013 «Works with concrete during the construction of the containment of the reactor plant nuclear power plants». – М., 2013. – P. 10.

10. Dorf, V.A. Prospects for the construction of buildings and structures of nuclear power plants with blocks with permanent fiber reinforced concrete formwork / V.A. Dorf, R.O. Krasnovskii // Nuclear construction. – 2013. – № 15. – P. 21–27.

11. Dorf, V.A. Prospects for the development of one of the areas of precast -monolithic construction in the construction of residential and public buildings / V.A. Dorf, R.O. Krasnovskii, D.E. Kapustin, K.V. Rogachev // Architecture and Construction Russia. – 2013. – № 12. – P. 10–15.

12. Dorf, V.A. Impact strength fiber reinforced concrete fiber content and its characteristics. International scientific conference «Integration, partnership and innovation in construction science and education» / V.A. Dorf [etc.]. – М.: MGRS, 2013. – P. 579–585.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Мигунов Виктор Николаевич**,  
кандидат технических наук, докторант,  
доцент кафедры «Городское строительство  
и архитектура»

*Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет*

Россия, 614990, г. Пермь – ГСП,  
ул.Академика Королёва, 19а  
тел.: (8342)2-391-573

**Овчинников Игорь Георгиевич**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Автомобильные дороги  
и мосты», действительный член РАТ

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Migunov Viktor Nikolaevich**,  
Candidate of Sciences, Doctoral student,  
Associate Professor of the department «Urban  
Construction and Architecture»

*Perm National Research Polytechnic  
University*

Russia, 614990, Perm – GSP  
19a, Academician Korolyov St.  
tel.: 8342)2-391-573

**Ovchinnikov Igor Georgievich**,  
Doctor of Sciences,  
Professor of the department «Roads and  
Bridges», member of the real PAT

## ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН НА ЖЁСТКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ОБЫЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.Н. Мигунов, И.Г. Овчинников

По данным длительных натурных и кратковременных лабораторных экспериментальных исследований обычных железобетонных элементов получены функциональные зависимости изменения кратковременной прочности на центральное и внецентренное сжатие, а также жёсткости от усреднённых величин максимальных значений ширины раскрытия и соответствующих им длин коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона.

*Ключевые слова: центрально и внецентренно сжатые железобетонные элементы, коррозия арматуры, ширина раскрытия и длина коррозионных продольных трещин, жёсткость, прочность*

## EFFECT OF CORROSION LONGITUDINAL CRACKS ON THE STIFFNESS AND STRENGTH OF ORDINARY REINFORCED CONCRETE BLOCKS

V.N. Migunov, I.G. Ovchinnikov

According to long and short full-scale real and laboratory experimental studies of conventional reinforced concrete elements functional dependences of short-term strength in the central and eccentric compression and stiffness from the average of maximum values quantities of opening width and corresponding lengths of corrosion longitudinal cracks in the protective layer of concrete are obtained.

*Keywords: central and eccentrically compressed concrete elements, corrosion of reinforcement, opening width and length of the longitudinal corrosion cracking, stiffness, strength*

Воздействию хлоридов подвергаются железобетонные транспортные сооружения, подземные коммуникационные коллекторы, строительные конструкции цехов по производству химических удобрений, хлора, каустика и пищевой продукции. Несущие железобетонные конструкции транспортных сооружений выходят из строя из-за воздействия противогололёдных реагентов, содержащих соли – хлориды, не только на бетон, но, главным образом, и на рабочую арматуру.

В результате хлоридной коррозии в США в 1982 г. было повреждено 213 тысяч мостовых железобетонных конструкций, стоимость ремонта которых оценивалась в 41,1 млрд долларов, а в 1986 г. – 244 тысячи аналогичных конструкций со стоимостью ремонта 51,4 млрд долларов. Экономический объём повреждений на мостовых сооружениях в России пока неизвестен [1]. В то же время, по сведениям Всемирного банка, из 60 тысяч автодорожных железобетонных мостов России ежегодно выходят из строя около 600. Главной причиной потери эксплуатационных свойств железобетонных мостов является хлоридная коррозия арматуры в условиях карбонизации бетона [2].

По данным натурных обследований более 4 тысяч автомобильных и железнодорожных железобетонных мостов, проведённых Международной ассоциацией по мостам и конструкциям, 7 % несущих транспортных сооружений имели продольные трещины в защитном слое бетона, вызванные коррозией рабочей арматуры, которые указывают на предаварийное состояние конструкции [3].

Коррозионные продольные трещины в защитном слое бетона длиной более 1 метра и раскрытием более 0,05 мм имели 11 из 86 железобетонных несущих полурам после 13 лет эксплуатации в производственных сельскохозяйственных зданиях [4].

В нормативных документах по расчёту и защите железобетонных конструкций от коррозии коррозионные продольные трещины в защитном слое бетона не рассматриваются при определении их деформационных и несущих свойств (СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции, СНиП 2.03.11-85\* Защита строительных конструкций от коррозии). Данные длительных экспериментальных исследований по влиянию геометрических параметров коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона на их механические и деформационные характеристики, полученные на обычных железобетонных элементах или на их прямых моделях, в научной литературе отсутствуют [5].

Для получения количественной характеристики влияния коррозионных продольных трещин в защитном слое бетона на изменение деформационных и прочностных свойств обычных железобетонных элементов в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства проведены длительные натурные и кратковременные лабораторные экспериментальные исследования на 18 опытных железобетонных конструкциях.

По геометрическим размерам и механическим характеристикам бетона и арматуры образцы являются прямыми моделями железобетонных колонн. В верхней и нижней части железобетонные элементы имеют консоли длиной 12 см. Длина образцов и размеры их поперечного сечения в центральной части соответственно составляют 100 см и 12 × 10 см с толщиной защитного слоя бетона 15 мм.

Железобетонные элементы армированы объёмным арматурным каркасом с несущей арматурой 4 Ø 8 мм класса А-III и распределительной Ø 5 мм класса В<sub>p</sub> – I. Хомуты по высоте колонны располагаются с шагом 140 мм. Конструктивная и распределительная арматура каркаса консолей принята из арматурной проволоки Ø 5 мм класса В<sub>p</sub> – I, шаг хомутов переменный: в опорной части 30 мм, а по высоте – 100 мм. Выбор соответствующего диаметра и класса арматуры в консольных частях моделей колонн мотивирован недопущением уменьшения толщины защитного слоя бетона в стыковом узле консоли с центральной частью колонны.

Бетон изготовлен на портландцементе марки 400 и гранитном щебне фракции 5-10 мм с водоцементным отношением  $v/c=0,45$ .

Для нейтрализации щёлочи поровой влаги бетона и активизации коррозионного процесса на арматуре в бетонную смесь при изготовлении образцов вводились хлорид-ионы в виде добавки 5 % NaCl от массы цемента. В контрольных образцах добавка отсутствует. Железобетонные элементы два раза в сутки увлажнялись водопроводной водой. По интенсивности коррозионного поражения арматуры данные условия характеризуются как сильноагрессивные [6]. Ширина раскрытия трещин в процессе длительных испытаний определялась с помощью трубки-микроскопа МПБ-2 с кратностью увеличения 24<sup>х</sup> и ценой деления 50 мкм. Время до появления продольных трещин на образцах с добавками составляет 17 месяцев, что при эксплуатации в слабоагрессивной жидкой среде с хлорид-ионами может приравниваться к 20 годам [7].

Жёсткость внецентренно сжатых элементов, являющаяся интегральной характеристикой их деформационных свойств, определялась с помощью разработанной мето-

дики, позволяющей определять радиус кривизны изгибаемого элемента по величинам приращения линейных деформаций на сжатой и растянутых гранях образцов [8]. Деформации бетона в центральной части по высоте граней образцов определялись с помощью механических тензометров Гугенбергера.

По окончании 3,2 лет натурального эксперимента образцы были подвергнуты в лабораторных условиях кратковременному испытанию до разрушения центральной и внецентренно приложенной сжимающей нагрузкой. Определение прочности и жёсткости железобетонных элементов производилось с учётом требований ГОСТ 8829-94 (Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жёсткости и трещиностойкости), а прочности бетона – с учётом требований ГОСТ 22690–88 (Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля) и ГОСТ Р 53231-2008 (Бетоны. Правила контроля и оценки прочности).

Образцы испытывались на воздействие центрально и внецентренно приложенных сжимающих нагрузок на прессе МС-50. Изгибающий момент возникал за счёт наличия эксцентриситета  $e = 30$  мм между геометрическим центром центральной части колонны и точкой приложения сжимающей нагрузки.

Глубина нейтрализации (карбонизации) бетона и наличие в нём хлорид-ионов определялись после разрушения образцов способом нанесения на свежий скол бетона соответствующих индикаторов: 0,1 % раствора фенолфталеина в спирте и децинормального раствора азотнокислого серебра. Для всех образцов глубина нейтрализации составила в среднем 5-7 мм.

Экспериментальные результаты кратковременных испытаний железобетонных образцов на центральное сжатие при разрушении, полученные от усреднённых геометрических показателей коррозионных продольных трещин и прочности бетона, приведены в табл. 1. Величина контрольной прочности на центральное сжатие железобетонных образцов, показанная в табл.1, рассчитана как среднеарифметическая величина из значений прочности образцов №1, №2 и №3, составляющая  $P_{разр}^{кон} = 35233$  кг.

Т а б л и ц а 1

Экспериментальные результаты прочности железобетонных образцов

Номер образцов	Среднее значение по 4-м граням, $a_{T_{max}}^{cp} / l_{T_{max}}^{cp}$ мм/мм	Прочностные характеристики при центральном сжатии в момент разрушения, кг		Прочность бетона образцов, МПа
		$P_{разр}$	Снижение $P_{разр}$ , %	
1	-	35600	0	32,3
2	-	35200	0	32,00
3	-	34900	0	32,2
4	$\frac{0,325}{103}$	29400	16,6	32,9
5	$\frac{0,575}{128}$	27500	22,0	32,4
6	$\frac{0,663}{150}$	26800	23,9	32,7
7	$\frac{0,687}{163}$	26100	25,9	32,7
8	$\frac{0,613}{158}$	26000	26,2	31,8
9	$\frac{0,588}{253}$	24300	31,0	32,0
10	$\frac{0,670}{263}$	23200	34,2	32,5
11	$\frac{0,750}{243}$	22900	35,9	32,3

На рис. 1. представлены графические линейные зависимости изменения прочности на сжатие при разрушении ( $P_{\text{разр}}$ ) и величины её изменения ( $\Delta P_{\text{разр}}$ ) от средних максимальных значений ширины раскрытия  $a_{T_{\text{max}}}^{\text{cp}}$  и соответствующих им длины  $\ell_{T_{\text{max}}}^{\text{cp}}$  коррозионных продольных трещин [9].

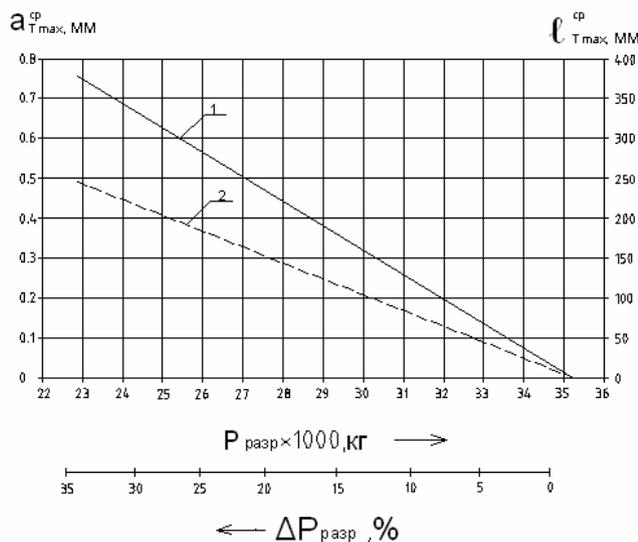


Рис. 1. Зависимости изменения прочности  $P_{\text{разр}}$  и относительной величины её уменьшения ( $\Delta P_{\text{разр}}$ ).  
Примечание: значения 1 и 2 соответствуют  $a_{T_{\text{max}}}^{\text{cp}}$  и  $\ell_{T_{\text{max}}}^{\text{cp}}$

Экспериментальные данные, полученные при кратковременном внецентренном сжатии железобетонных образцов до разрушения в зависимости от усреднённых геометрических показателей коррозионных продольных трещин и прочности бетона, приведены в табл. 2. Величины контрольной жёсткости и прочности железобетонных образцов, представленные в табл. 2, рассчитаны как среднеарифметические величины из значений образцов №1 и №2, которые соответственно составляют:  $B_{\text{к}} = 1,61 \cdot 10^8 \text{ кг}\cdot\text{см}^2$ ;  $P_{\text{к}} = 21100 \text{ кг}$ .

Т а б л и ц а 2

Экспериментальные данные жёсткости и прочности железобетонных образцов.

Номер образцов	Средние значения по четырём граням, $a_{T_{\text{max}}}^{\text{cp}} / \ell_{T_{\text{max}}}^{\text{cp}}$ , мм/мм	Деформационные и прочностные характеристики в момент разрушения образцов				Прочность бетона образцов, МПа
		Жёсткость		Прочность		
		$B \cdot 10^8$ , кг·см <sup>2</sup>	Снижение жёсткости, $\frac{B - B_{\text{к}}}{B_{\text{к}}} \cdot 100$ , %	$P_{\text{разр}}$ , кг	Снижение несущей способности, $\frac{P_{\text{разр}} - P_{\text{к}}}{P_{\text{к}}} \cdot 100$ , %	
1	—	1,63	0	21900	0	32,8
2	—	1,59	0	20300	0	32,9
3	0,100/25	1,53	5,0	19750	6,4	32,8
4	0,038/90	1,52	5,6	19000	10,0	31,5
5	0,280/65	1,07	33,5	15750	25,4	32,7
6	0,655/113	0,90	44,1	15000	28,9	33,3
7	0,788/140	0,80	50,3	13000	38,4	33,5

На рис. 2 и рис. 3 показаны соответствующие графические экспоненциальные и линейные зависимости изменения жёсткости ( $B$ ), относительной величины её изменения ( $\Delta B$ ) и прочности ( $P$ ), построенные по экспериментальным данным от

соответствующих средних максимальных значений ширины раскрытия  $a_{T_{\max}}^{cp}$  и соответствующим им длины  $\ell_{T_{\max}}^{cp}$  коррозионных продольных трещин [9].

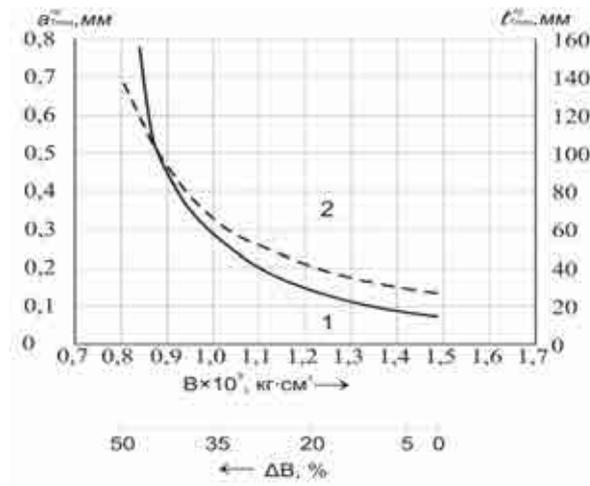


Рис.2. Зависимости изменения жёсткости  $B$  и относительной величины её уменьшения  $\Delta B$ .

Примечание: значения 1 и 2 соответствуют  $a_{T_{\max}}^{cp}$  и  $\ell_{T_{\max}}^{cp}$

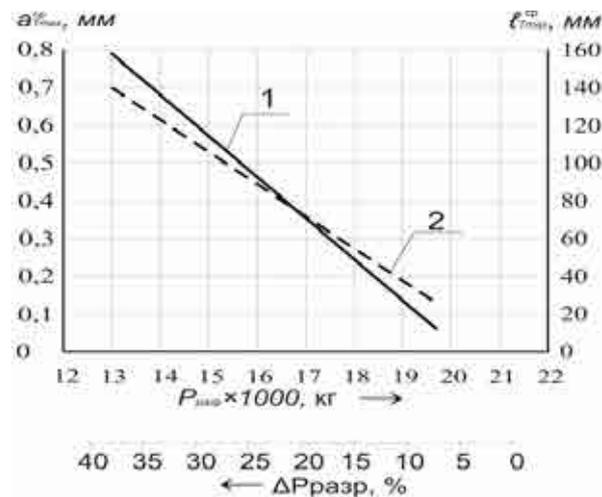


Рис.3. Зависимости изменения прочности на сжатие  $P_{\text{разр}}$  и относительной величины её уменьшения  $\Delta P_{\text{разр}}$ .

Примечание: значения 1 и 2 соответствуют  $a_{T_{\max}}^{cp}$  и  $\ell_{T_{\max}}^{cp}$

**Выводы:**

1. Получены функциональные зависимости изменения прочностных характеристик и относительных величин их уменьшения при центральном сжатии на прямых моделях обычных железобетонных конструкций.

2. Наличие продольных трещин с параметрами  $a_{T_{\max}}^{cp} = 0,750$  мм и  $\ell_{T_{\max}}^{cp} = 243$  мм при центральном сжатии приводит к снижению кратковременной прочности на 35,9 %.

3. С помощью разработанной методики определения жёсткости получены функциональные зависимости изменения жёсткости, а также прочности и относительных величин их уменьшения от средних максимальных значений  $a_{T_{\max}}^{cp}$  и  $\ell_{T_{\max}}^{cp}$  коррозионных продольных трещин на внецентренносжатых с малым эксцентриситетом ( $e=30$  мм) прямых моделях обычных железобетонных конструкций.

4. Наличие коррозионных продольных трещин с параметрами  $a_{T_{\max}}^{\text{CP}} = 0,788$  мм и  $\ell_{T_{\max}}^{\text{CP}} = 140$  мм приводит к снижению кратковременных жёсткости и прочности внецентренножатых с малым эксцентриситетом железобетонных элементов соответственно на 50,3 и 38,4 %.

5. При одинаковых геометрических параметрах коррозионных продольных трещин действие центрально-приложенной сжимающей нагрузки по сравнению с внецентренно приложенной сжимающей нагрузкой с малым эксцентриситетом ( $e=30$ мм) на 7 % меньше снижает несущую способность опытных образцов.

#### Список литературы

1. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости: моногр./ Н.К. Розенталь. – М: ФГУП ЦПП, 2006. – 520 с.
2. Маринин, А.Н. Сопротивление железобетонных конструкций воздействию хлоридной коррозии и карбонизации: моногр. / А.Н. Маринин, Р.Б. Гарибов, И.Г. Овчинников. – Саратов: Рата, 2008. – 261 с.
3. Мигунов, В.Н. Теоретические и экспериментальные исследования влияния трещин в защитном слое бетона на физико-технические характеристики изгибаемых, центрально-сжатых и внецентренножатых обычных железобетонных элементов/ В.Н. Мигунов, И.Г. Овчинников // Дороги и мосты. – М.: ФГУП «РосдорНИИ», 2011. – Вып. 25/1. – С. 181–201.
4. Мигунов, В.Н. Коррозия арматуры в трещинах железобетонных конструкций в газоздушном воздухе производственных зданий / В.Н.Мигунов // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – №8. – С. 4–9.
5. Мигунов, В.Н. Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами. Ч. 2: моногр. / В.Н. Мигунов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 304 с.
6. Мигунов, В.Н. Влияние внутренних факторов на скорость образования продольных трещин железобетонных конструкций с учётом коррозионного поражения арматуры класса А-I и А-III /В.Н. Мигунов// Изв. вузов. Строительство. – 2003. – №3 – С.121–123.
7. Мигунов, В.Н. Влияние переменной нагрузки и амплитуды изменения ширины раскрытия трещин на коррозионное поражение арматуры в трещинах железобетонных конструкций /В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство – 2002. – №10. – С.134–137.
8. Мигунов, В.Н. Длительные экспериментальные исследования влияния продольных трещин в защитном слое бетона на изменение долговечности, кратковременной жёсткости и прочности внецентренно сжатых с малым эксцентриситетом строительных обычных железобетонных элементов / В.Н. Мигунов, И.Г. Овчинников // Изв. вузов. Строительство. – 2010. – №2. – С.125–130.
9. Гарькина, И.А. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.П. Прошин; под ред. д-ра. техн. наук, проф. А.М. Данилова. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 284 с.

#### References

1. Rosenthal, N.K. Corrosion resistance cement concrete with low and very low permeability: monogr. / N.K. Rosenthal. – M.: FGUP CPP, 2006. – 520 p.
2. Marinin, A.N. The resistance of reinforced concrete structures impact chloride corrosion and carbonization: monogr. / A.N. Marinin, R.B. Garibov, I.G. Ovchinnikov. – Saratov: Rata, 2008. – 261 p.
3. Migunov, V.N. Theoretical and experimental studies of the influence of cracks in the protective layer of concrete on physical and technical characteristics of flexible, central compressed and eccentrically compressed ordinary concrete elements/ V.N. Migunov, I.G. Ovchinnikov // Roads and bridges. – M: FGUP «Rosdornii», 2011. – Vol. 25/1. – P. 181–201.

4. Migunov, V.N. The corrosion of the reinforcement in ferroconcrete structures cracks in the gas atmosphere of industrial buildings / V.N. Migunov // *Izv. vyzov. Construction.* – 2008. – №8. – P. 4–9.
5. Migunov, V.N. Experimental and theoretical study of corrosion and durability of ferro-concrete constructions with cracks. PM 2: monogr. / V.N. Migunov. – Penza: PGUAS, 2013. – 304 p.
6. Migunov, V.N. The influence of internal factors on the rate of formation of longitudinal cracks of concrete structures taking into account corrosion damage of armature of class A-I and A-III / V.N. Migunov // *Izv. vyzov. Construction.* – 2003. – №3 – P.121–123.
7. Migunov, V.N. The impact of the variable load and amplitude changes crack width on corrosion damage reinforcement in ferroconcrete structures cracks / V.N. Migunov // *Izv. vyzov. Construction* – 2002. – №10. – P.134–137.
8. Migunov, V.N. Long-term experimental studies of the influence of longitudinal cracks in the protective layer of concrete to change durability, short of rigidity and strength eccentrically compressed with small eccentricity construction of conventional reinforced concrete elements / V.N. Migunov, I.G. Ovchinnikov // *Izv. vyzov. Construction.* – 2010. – №2. – P.125–130.
9. Gurkina, I.A. Planning of the experiment. The processing of experimental data / I.A. Gurkina, A.M. Danilov, A.P. Proshin; edited by Dr. sciences, Professor A.M. Danilov. – Penza: PGUAS, 2005. – 284 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Булавенко Вячеслав Олегович**,  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: Bulavenko.slava@yandex.ru

**Гучкин Игорь Сергеевич**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Bulavenko Vyacheslav Olegovich**,  
Postgraduate of the department «Building  
constructions»  
E-mail: Bulavenko.slava@yandex.ru

**Guchkin Igor Sergeevich**,  
Candidate of Sciences, Professor  
of the department «Building constructions»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

## КОМБИНИРОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК СО СРЕДНИМ И ВЫСОКИМ ПРОЦЕНТОМ АРМИРОВАНИЯ

В.О. Булавенко, И.С. Гучкин

Рассматривается конструкция усиления железобетонной балки комбинированной системой, включающей стержневую затяжку, расположенную в растянутой зоне сечения, и накладками из стальных уголков, расположенных в сжатой зоне и соединенных с балкой эпоксидным клеем и стальными цилиндрическими шпонками. Приводятся новые результаты исследования прочности клевого соединения металл – бетон при циклических воздействиях низких отрицательных температур и водонасыщения, а также результаты испытаний усиленных балок при статическом нагружении в пролете двумя сосредоточенными силами.

*Ключевые слова: железобетонная балка, конструкция усиления, эпоксидный клей, морозостойкость, эксперимент, прочность, надежность*

## COMBINED DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AMPLIFICATION WITH MIDDLE AND HIGH PERCENTAGE OF REINFORCEMENT

V.O. Bulavenko, I.S. Guchkin

We present the design of reinforced concrete beams amplification by a combined system consisting of a rod puff located in the tension zone of cross section and overlays from steel corners located in the compression zone and connected to a beam with epoxy adhesive and steel cylindrical dowels. The results of the research the strength of glue metal-concrete connection under cyclic exposure to low freezing temperatures and water saturation, as well as test results of beams under static loading in the span by two concentrated forces are given.

*Keywords: reinforced concrete beam, structure amplification, epoxy adhesive, frost resistance, experiment, durability, reliability*

Необходимость усиления железобетонных балок всегда возникает при наличии серьезных повреждений или увеличении нагрузки при реконструкции здания. Существует много вариантов усиления, среди которых подключение промежуточных упругих опор; подварка дополнительной рабочей арматуры; установка обычных и шпренгельных затяжек. Общим недостатком перечисленных вариантов является незначительный коэффициент усиления балок, имеющих высокий процент армирования ( $\mu = 2,5 - 3\%$ ). Усилить такие балки можно и другим способом, например

установить под балкой промежуточную жесткую опору, однако это не всегда отвечает эстетическим и технологическим требованиям. Таким образом, проблема эффективного усиления балок с высоким процентом армирования актуальна и требует неординарного решения.

Авторами статьи разработана комбинированная конструкция, предназначенная для усиления балок со средним и высоким процентом армирования. Железобетонная балка усиливается стержневой затяжкой, расположенной в растянутой зоне, и жесткими накладками из стального проката (пластины, уголки или швеллеры), расположенными в сжатой зоне и соединенными с балкой эпоксидным компаундом и стальными цилиндрическими шпонками (рис.1).

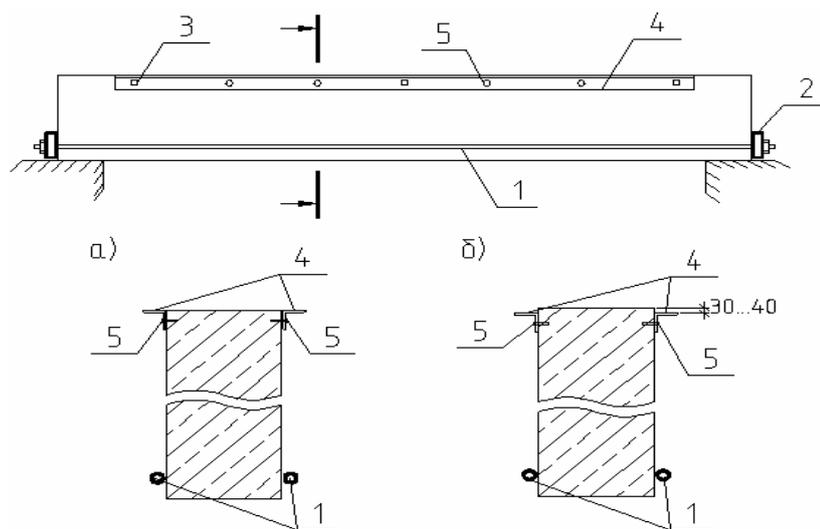


Рис. 1. Усиление балки затяжкой и накладками:  
 1 – затяжка; 2 – траверса; 3 – болт; 4- накладка; 5 – шпонка;  
 а – б – варианты усиления накладками

Целью настоящего исследования является определение эффективной работы конструкции усиления в обычных и экстремальных условиях эксплуатации.

Физический эксперимент выполнялся в три этапа.

**На первом этапе** исследовалось прочность клеевого соединения стальных накладок (уголков) с бетоном. С этой целью из бетона класса В15, морозостойкостью марки F150, изготавливались кубики с размерами грани 100 мм, на которые наклеивались эпоксидным клеем SIKADUR-330 стальные уголки 25×25 в двух вариантах обычным способом (образцы К-1; К-2; К-3) и со шпонками (образцы К<sub>ш</sub>-1; К<sub>ш</sub>-2; К<sub>ш</sub>-3).

Затем клеевое соединение испытывалось на сдвиг на прессе марки «П10» по схеме, показанной на рис. 2, со скоростью нагружения 0,1–0,2 МПа/с. Результаты испытаний клеевого соединения, выполненного обычным способом и с использованием стальных шпонок, представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты испытаний клеевого соединения на сдвиг

Образец	Усилия сдвига <i>P</i> , кгс	Среднее значение <i>P</i> <sub>ср.</sub> , кгс	Коэффициент усиления соединения шпонками
К-1	1620	1546,7	$K = \frac{3823,3}{1546,7} = 2,47$
К-2	1320		
К-3	1700		
К <sub>ш</sub> -1	4220	3823,3	
К <sub>ш</sub> -2	3750		
К <sub>ш</sub> -3	3500		

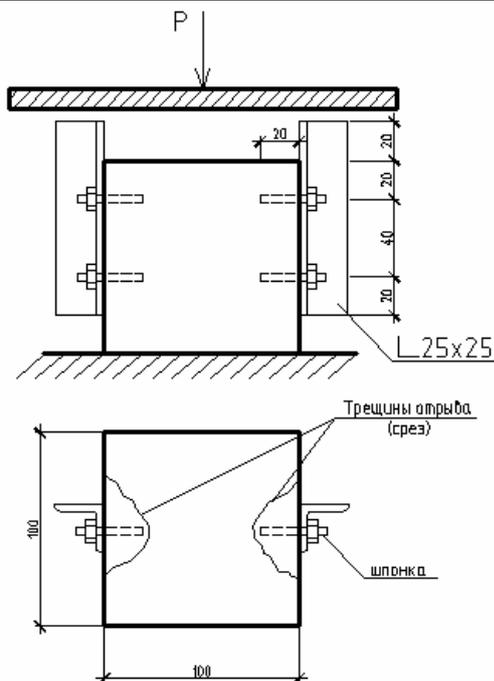


Рис. 2. Схема испытания клеевого соединения на сдвиг

Испытания показали, что независимо от наличия или отсутствия шпонок разрушение клеевого соединения при сдвиге происходит по бетону. Прочность клеевого соединения на шпонках примерно в 2,5 раза выше прочности обычного соединения.

**На втором этапе** исследовалась долговечность клеевого соединения при циклическом замораживании-оттаивании и увлажнении-высушивании. Учитывалось, что надежность работы клеевого соединения во многом зависит от физико-механических свойств склеиваемых материалов, так как в большинстве случаев разрушение происходит не по клеевому шву, а в прилегающей к нему зоне бетона, т.е. разрушение по когезии.

Прочность и долговечность поверхностного 10–20 мм слоя бетона, расположенного в зоне соединения, иная, чем в массиве, она быстрее промораживается, водонасыщается и высыхает; следовательно, и деструктивные процессы здесь протекают гораздо интенсивнее, чем в массиве, что очень важно учитывать при назначении нормативных сроков эксплуатации усиливаемых конструкций.

Вся партия образцов перед испытанием разбивалась на три серии.

Первая серия «К» – контрольные образцы – подвергалась кратковременным испытаниям до разрушения на прессе в возрасте 28 суток и в последующие сроки одновременно с испытаниями образцов из других серий.

Вторая серия образцов «F» испытывалась на морозостойкость по ГОСТ 10060.2–95 при температуре замораживания 18–20 °С.

Третья серия образцов «W» испытывалась на водонасыщение-высушивание по режиму: насыщение 3 часа, высушивание в сушильном шкафу при температуре 70–80 °С в течение одного часа.

Испытание клеевого соединения на сдвиг проводилось на прессе марки П10 по схеме, показанной на рис. 2, со скоростью нагружения 0,1–0,2 МПа/с. Испытание кубиков на сжатие выполнялось на испытательной машине марки ГМС-50 со скоростью 0,6–0,8 МПа/с.

Прочность клеевого соединения на сдвиг в сериях «F» и «W» определялась через 25, 50 и 75 циклов замораживания-оттаивания и водонасыщения-высушивания. Возраст образцов, прошедших циклические испытания, составлял 126 суток.

Результаты испытаний представлены в табл. 2. Фотоиллюстрации образцов до и после испытаний на сдвиг приведены на рис. 3.



Рис.3. Характер разрушения клеевого соединения после испытаний на сдвиг

Т а б л и ц а 2

Результаты испытаний образцов на сдвиг

Количество циклов испытаний	Возраст образцов к началу испытаний на циклические воздействия в сериях «F» и «W», сут			Возраст образцов к началу испытаний на сдвиг, сут	Усилие сдвига клеевого соединения, кН, в сериях		Снижение прочности на сдвиг, %, в сериях	
	28	60	90		F	W	F	W
25	-	-	+	126	11,3	10,8	8,1	12,2
50	-	+	-	126	10,8	11,0	12,2	10,6
75	+	-	-	126	8,0	10,6	34,9	13,8

П р и м е ч а н и е. Среднее усилие сдвига в контрольных образцах в возрасте 126 суток нормального твердения  $P_0=12,3$  кН.

Анализируя результаты эксперимента можно заметить, что после 25 и 50 циклов испытания падение прочности клеевого соединения при сдвиге, относительного среднего усилия сдвига в контрольных образцах такого же возраста в сериях «F» и «W» имеет близкие значения и составляет в первом случае 8,1 и 12,2 %, а во втором – 12,2 и 10,6 % соответственно. Однако после 75 циклов испытаний прочность при сдвиге в серии «F» снизилась в 1,35 раза, в то время как в образцах серии «W» прочность снизилась незначительно, что говорит о более быстром развитии деструкции поверхностного слоя бетона при замораживании-оттаивании в сравнении с водонасыщением-высушиванием.

Изучение характера разрушения образцов показало, что после 75 циклов испытаний объем бетона, подверженного выкалыванию при сдвиге, оказался в 1,2-1,4 раза больше в образцах серии «W» по сравнению с образцами серии «F».

**На третьем этапе** исследовались физико-механические параметры усиленной балки: прочность, трещиностойкость и жесткость. Балки двух серий Б-1 и Бу-1 сечением 50×100 мм, длиной 1000 мм изготавливались из бетона класса В15, армировались плоским каркасом (рис. 4). При этом балки серии Бу-1 усиливались затяжкой и стальными накладками. Физико-механические и геометрические параметры элементов усиления были следующие:

- затяжка – стержни из арматуры класса А240 диаметром 8 мм;
- уголки стальные (ст.3) размером 25×25 мм;
- шпонки стальные (ст.3) диаметром 6 мм;
- эпоксидный клей марки SIKADUR®-330 с отношением «смола – отвердитель» 4:1.

Балки нагружались двумя сосредоточенными силами, расположенными в третях пролета и испытывались на универсальной испытательной машине марки ГРМ-1 (рис.5).

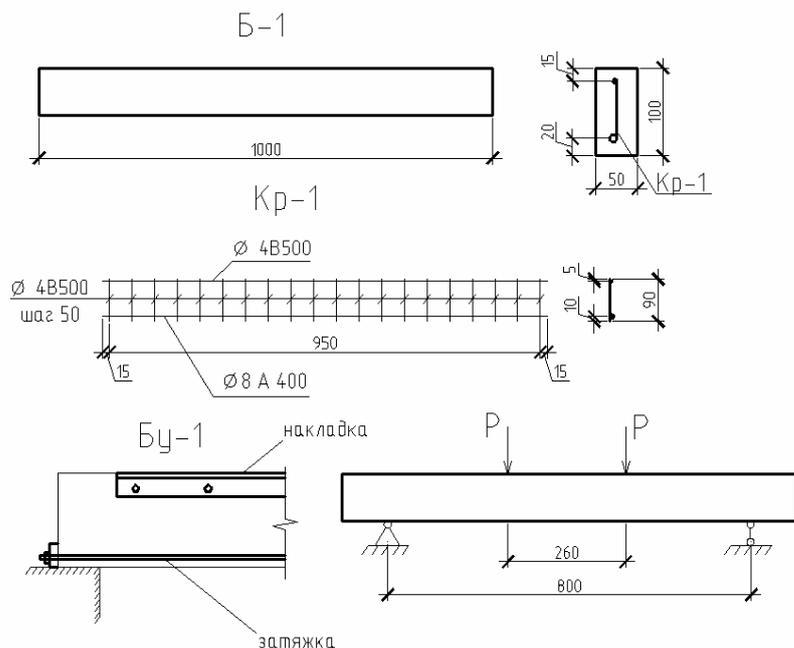


Рис. 4. Геометрические параметры опытных образцов, схема армирования, усиления и испытания балок



Рис. 5. Фрагмент испытания усиленной балки (Бу-1)

Нагружение производилось плавно, ступенями, примерно равными 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки. После каждой ступени нагружения делалась 5-минутная выдержка, согласно методике испытаний балок, по нормальному сечению, в течение которой балка и элементы усиления тщательно осматривались, одновременно снимались показания приборов. Результаты испытания балок даны в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Результаты испытания балок

Исследуемый параметр	Марка образца	
	Б-1*	Бу-1
Нагрузка при появлении трещин $2P_{crs}$ , кгс	2,5	9,0
Прогиб при нагрузке $2P_f=1200$ кгс, мм	4,6	1,81
Разрушающая нагрузка $2P_{ult}$ , кгс	14,2	19,9
Коэффициент усиления по разрушающей нагрузке	–	1,4

\* Среднее значение результатов испытаний трех неусиленных балок.

Испытания показали, что на всем диапазоне нагружения до величины  $P=(0,9-0,95)P_{ult}$  прогибы неусиленных и усиленных балок нарастают плавно, пропорционально росту нагрузки.

В балке Бу-1 первые трещины с шириной раскрытия 0,05-0,1 мм были вертикальными и появились в средней части пролета при нагрузке  $P=0,45P_{ult}$ . При дальнейшем росте нагрузки количество вертикальных трещин увеличивалось, и росла ширина раскрытия. Наклонные трещины появились при нагрузке  $P=0,75P_{ult}$ .

Разрушение балки произошло по наклонной трещине, расположенной на расстоянии 0,2l от опоры, и сопровождалось продольным расслоением бетона сжатой зоны. Несущая способность балки, усиленной комбинированной системой, увеличилась в 1,4 раза.

#### Выводы

1. Усиление железобетонных балок комбинированной системой, включающей клеевое соединение металла с бетоном, надежно в работе и позволяет значительно увеличить несущую способность.

2. Применение стальных цилиндрических шпонок в клеевом соединении металл – бетон увеличивает прочность соединения на сдвиг примерно в 2,5 раза.

3. Морозостойкость контактного слоя бетона в клеевом соединении с металлом существенно ниже морозостойкости бетона в массиве. При морозостойкости бетона в массиве марки F150 уже после 75 циклов замораживания-оттаивания прочность клеевого соединения на сдвиг снизилась на 34,9 %, вместо прогнозируемого снижения на 2 %, что косвенно подтверждает низкую морозостойкость контактного слоя бетона.

4. Для повышения эффективности усиления балок, армированных одним плоским каркасом, между стальными накладками целесообразно установить поперечные связи, препятствующие продольному расслоению бетона сжатой зоны. В балках, армированных пространственным каркасом, роль этих связей частично выполняют расположенные в сжатой зоне горизонтальные поперечные стержни каркаса.

#### Список литературы

1. СП 52-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ФГУП ЦПП, 2004.

2. Рекомендации по восстановлению и усилению полносборных зданий полимеррастворами. – М.: Стройиздат, 1990.

3. Гучкин, И.С. Техническая эксплуатация и реконструкция зданий / И.С. Гучкин. – М.: Изд-во АСВ, 2009.

4. Микульский, В.Г. Склеивание бетона / В.Г. Микульский, В.В. Козлов. – М., Стройиздат, 1975. – 236 с.

5. Sikadur®-330 2-компонентный эпоксидный клей – Техническая карта материала, идентификационный №: 02 04 01 04 001 0 000004 sikadur®-330.

#### References

1. SP 52-101-2003. Code of Practice for design and construction. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement. – М.: FGUP ZPP, 2004.

2. Recommendations to restore and strengthen the prefabrication of buildings polymer solutions. – М.: Stroyizdat, 1990.

3. Guchkin, I.S. Technical operation and renovation of buildings / I.S. Guchkin. – М.: Publishing House of the DIA, 2009.

4. Mikulski, V.G. Bonding of concrete / V.G. Mikulski, V.V. Kozlov. – М.: Stroiizdat, 1975. – 236 p.

5. Sikadur ®-330 2-component epoxy adhesive – Product Data Sheet, ID №: 02 04 01 04 001 0 000004 sikadur ®-330.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Вдовин Вячеслав Михайлович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
**Ишмаева Дарья Дмитриевна**,  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: ishmaeva.dd@gmail.com

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Vdovin Vyacheslav Mikhailovich**,  
Candidate of Science, Professor of the  
department «Building construction»  
**Ishmaeva Darya Dmitrievna**,  
Postgraduate of the department «Building  
construction»  
E-mail: ishmaeva.dd@gmail.com

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ БАЛОЧНЫХ СТРУКТУР ИЗ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.М. Вдовин, Д.Д. Ишмаева

Представлены результаты теоретической оценки и анализа работы балочных структур из клеёных деревянных элементов с учётом характера действующих нагрузок, конструктивных особенностей узлов, места расположения опорных стоек и других факторов, влияющих на рациональность и оптимизацию конструктивных схем.

*Ключевые слова: балочная структура, клеёная деревянная балка, опорная стойка, расчёт, оптимизация*

### CONSTRUCTION PARAMETERS OPTIMIZATION OF BEAM STRUCTURES FORMED FROM GLUED LAMINATED ELEMENTS

V.M. Vdovin, D.D. Ishmaeva

The results of theoretical calculation of beam structures formed from glued laminated elements. Which take into consideration the kind of loading, construction features of connection, location of supports and other factors are presented.

*Keywords: beam structures, glued laminated beams, support, calculation, optimization*

В отечественной и зарубежной практике строительства применяется достаточно большое разнообразие балочных структур из клеёных деревянных элементов. С некоторыми из них можно ознакомиться в [1, 2]. Однако учитывая их архитектурные и конструктивные возможности, а также экономические предпочтения по сравнению с другими видами несущих балочных конструкций, разнообразие схем может быть значительно расширено. К сожалению, современные литературные источники не располагают практическими методами расчёта балочных структур и ориентированы лишь на очень ограниченное количество схем. В [1, 2] приведены лишь шесть схем балочных структур, для которых даны величины максимальных изгибающих моментов в отдельных балках:

$$M = k \cdot q \cdot a \cdot l^2, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент к максимальному изгибающему моменту;  $q$  – распределённая нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  перекрытия;  $a$  – расстояния между балочными элементами структуры;  $l$  – пролёт структуры.

Однако даже для конкретных схем структур трудно пользоваться вышеприведенной формулой при проектировании, поскольку отсутствует конкретная информация о таких важных для расчёта характеристиках, как способ передачи нагрузки на балочные элементы, условия опирания структур на нижележащие конструкции, способы сопряжения балок в узлах. Расчёт же балочной клетки как плиты постоянной жёсткости, даёт слишком приближённые решения и может быть использован лишь для предварительного назначения размеров поперечных сечений балок.

Статья посвящена выбору метода расчёта структур и проведению на его основе анализа работы структур с уточнением влияния на неё таких факторов, как величина пролёта, характер действующих нагрузок, граничные условия, конструктивные решения промежуточных узлов.

Для нижеприводимых расчётов структур использован программный комплекс SCAD. В основу расчёта положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных величины перемещений и углов поворота расчётной схемы.

Расчётная схема балочной структуры в системе SCAD задана в виде пространственно-стержневой модели общего вида, расположенной в плоскости  $XOY$  и состоящей из стержней, жёстко сопряжённых друг с другом в узлах (случай с шарнирным сопряжением элементов в узлах рассмотрен отдельно). Шарнирное опирание структуры на стойки задаётся путём наложения связей в направлении осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

Отмечаются некоторые особенности расчётной схемы балочной структуры в программном комплексе SCAD. Так, нагрузка от собственного веса задается с помощью функции “Собственный вес” во вкладке “Загрузки”. Для того чтобы смоделировать равномерное нагружение структуры нагрузкой, распределённой по площади структуры, было введено покрытие с помощью формирования треугольной сетки конечных элементов на плоскости. В окне “Автоматическая триангуляция” был выбран метод и шаг триангуляции, трёхузловые элементы объединены в четырёхузловые. Учитывая то, что балочные структуры, выполненные из деревянных элементов, не могут иметь монолитного (жёсткого) сопряжения с плитой покрытия, укладываемой поверх балочной структуры, в программе SCAD это условие реализовано принятием малой толщины плиты. Такое покрытие выполняет только функции передачи нагрузки на структуру, не участвуя в её общей работе.

Выбранная таким образом расчётная схема и порядок расчёта сначала были апробированы на балочных структурах с ортогональной и диагональной сеткой, для которых имеются табличные значения максимальных изгибающих моментов.

Вычисления проделаны для пролётов структур, равных 6, 12, 18 и 24 м.

Поперечные сечения балок в структуре назначались согласно имеющимся рекомендациям, а именно: высота сечения  $h=1/20 \cdot l$  (рекомендуемые значения  $(1/16 \div 1/30) \cdot l$ ); ширина сечения –  $b=1/5 \cdot h$  (рекомендуемые  $(1/5 \div 1/10) \cdot h$ ).

Опирание структуры на стойки – шарнирное по всему контуру. Все узлы сопряжения балок в структуре – жёсткие. Материалом балок принята древесина сосны второго сорта с объёмным весом  $g=5 \text{ кН/м}^3$ , модулем упругости  $E=10^7 \text{ кН/м}^2$  и коэффициентом Пуассона  $\nu=0,5$ . Структуры были рассчитаны на действие равномерно распределённой нагрузки  $q=1 \text{ кН/м}^2$ .

Сравнительные результаты вычислений максимальных изгибающих моментов в балочных структурах по «табличному» методу, предлагаемому в [1] и выполненному в программе SCAD с принятыми особенностями, для ортогональных структур представлены графиками на рис.1.

Анализируя полученные данные, следует отметить относительно хорошую сходимость результатов. Для структурной схемы №1 расхождения в  $M_{\max}$  составляют 10-13 %, для схемы №2 – 6-19 %, для схемы №3 – 2-11 %.

В целях сокращения объёма статьи графики сходимости для диагональных структур не показаны, но для них получены ещё более близкие результаты (1-5 %).

Таким образом, можно сделать вывод, что в дальнейшем для расчёта балочных структур, можно использовать программный комплекс SCAD, поскольку он позволяет

более универсально учесть различные граничные условия при вычислении изгибающих и крутящих моментов, поперечных сил, а также прогибов во всех элементах различных структурных схем.

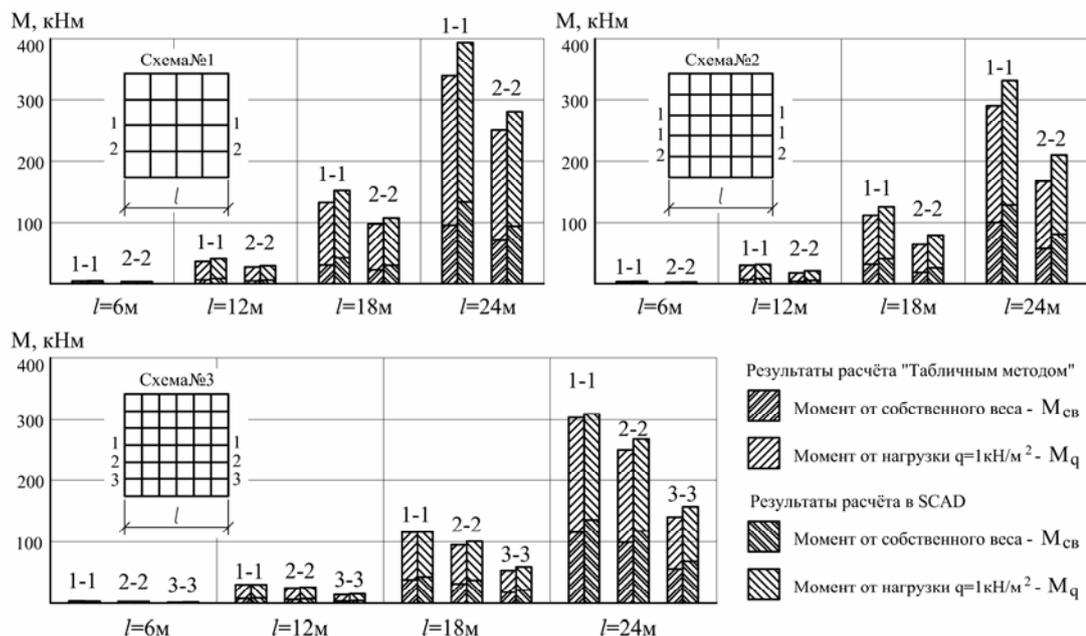


Рис. 1. Результаты сравнительного расчёта балочных структур «табличным методом» и в программе SCAD

Для оценки влияния на НДС балочной структуры жёсткого или шарнирного сопряжения балок были произведены расчёты трёх структурных схем, по четырём вариантам сопряжения балок в структуре:

Вариант №1 – все узлы сопряжения балок в структуре жёсткие (рис.2,а);

Вариант №2 – все узлы шарнирные при разрезке балок в структуре со стыками в каждом узле четырёх элементов длиной на ячейку (рис.2,б);

Вариант №3 – чередование жёсткого и шарнирного сопряжения балок в узлах при разрезке с чередованием сквозных и примыкающих балок (рис.2,в);

Вариант №4 – разрезка балок в структуре с цельными балками одного направления на всю длину пролёта структуры и с шарнирным примыканием к ним балок с длиной на ячейку (рис.2,г).

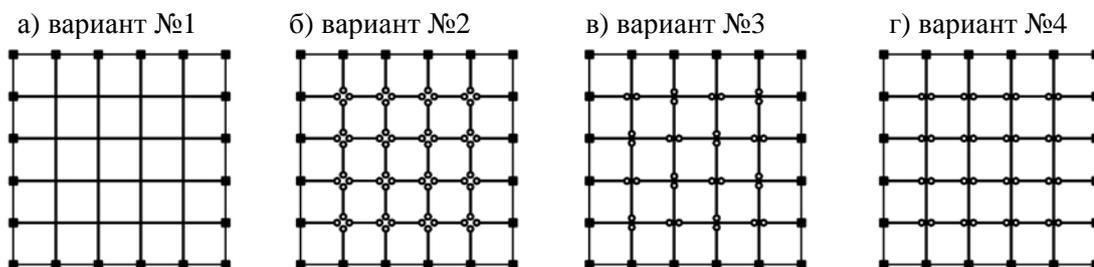


Рис. 2. Варианты сопряжения элементов в узлах ортогональных и диагональных балочных структур

При этом в качестве постоянных величин приняты: материал балок – древесина сосны II сорта; равномерно распределённая нагрузка на структуру  $q = 2,45 \text{ кН/м}^2$ ; опорные стойки располагаются по контуру в местах примыкания к ним балок. Расчёты выполнены для пролётов  $l = 6, 12, 18, 24 \text{ м}$ .

Сечения балочных элементов структур были подобраны для варианта с жёстким сопряжением элементов (вариант №1) по величине максимальных усилий  $M_{\max}$ , возникающих в структуре? или по максимальному прогибу, возникающему в середине пролёта.

Результаты расчётов представлены на графиках рис.3.

По результатам расчёта нетрудно оценить, что наличие жёсткого сопряжения балок в каждом узле сетки структуры является предпочтительным по сравнению с другими вариантами узлов. Причём при небольших пролётах (6 м) разница в величинах максимальных моментов невелика для различных вариантов сопряжения узлов в структуре и при соответствующем обосновании вполне возможно проектировать такие структуры с шарнирным сопряжением узлов по вариантам №3 и №4. С увеличением пролёта структуры величины максимальных изгибающих моментов для варианта жёсткого сопряжения в 2-3 раза меньше моментов для других вариантов.

Из всех рассмотренных вариантов самым неэффективным и неэкономичным является вариант для структур с шарнирными промежуточными узлами сетки. Помимо того, что в её элементах возникают значительно большие изгибающие моменты  $M_{\max}$ , чем для других вариантов, вся структура испытывает большие деформации, что вызывает необходимость придавать структуре в процессе строительства строительный подъём. Аналогичная картина получена и для структур с диагональной сеткой.

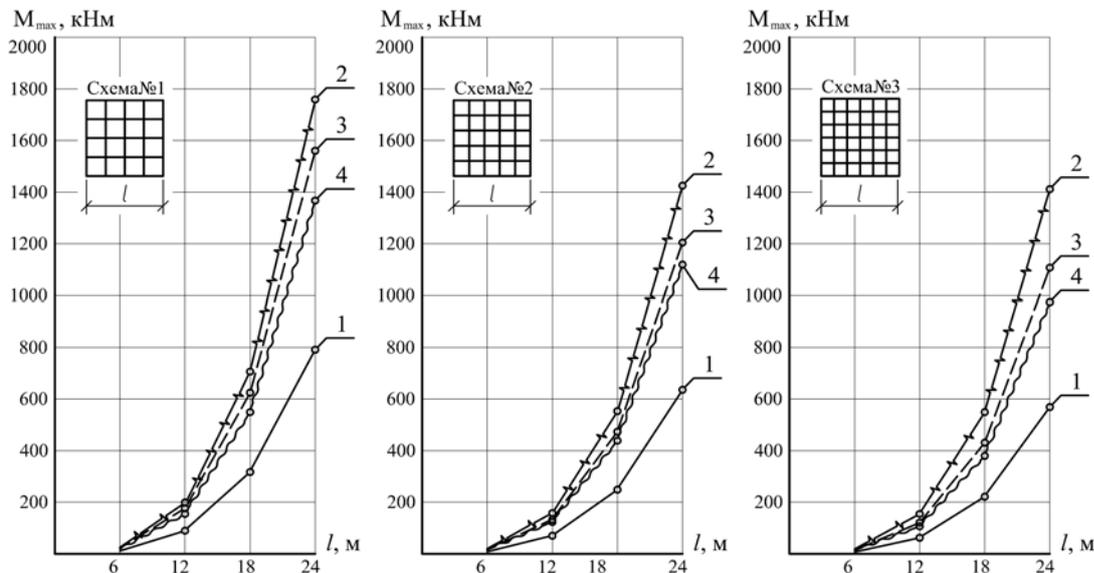


Рис.3. Результаты расчёта ортогональных и диагональных балочных структур с различными вариантами сопряжения элементов в узлах:

1 – по варианту №1; 2 – по варианту №2; 3 – по варианту №3; 4 – по варианту №4

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при проектировании балочных структур узлы сопряжения элементов предпочтительнее выполнять жёсткими и избегать при этом варианта с шарнирным сопряжением всех элементов, сходящихся в узле.

Расчёт структур, как правило, производится на нагрузки, равномерно распределённые по всей площади. Однако в действительности характер действия внешних нагрузок может значительно отличаться. Не исключается случай частичного загрузения структуры по её площади, в том числе несимметричного. Для выявления невыгодного действия внешних нагрузок на балочные элементы структуры проведены расчёты по определению изгибающих моментов и прогибов структуры на различные схемы действия нагрузок. Расчёту подвергалась ортогональная структура пролётом 12 м, с шагом балок 2 м, все узлы сопряжения жёсткие, опирание шарнирное – на стойки, расположенные по контуру. Интенсивность нагрузки принята  $q=1 \text{ кН/м}^2$ . Схемы нагрузок и результаты расчётов приведены на рис.4. Для более объективного сравнения результатов расчёты всех структур по всем вариантам выполнены на одинаковые суммарные

нагрузки. Высота поперечного сечения балок принималась равной  $h=1/20 \cdot l$ , ширина сечения –  $b=1/5 \cdot h$ .

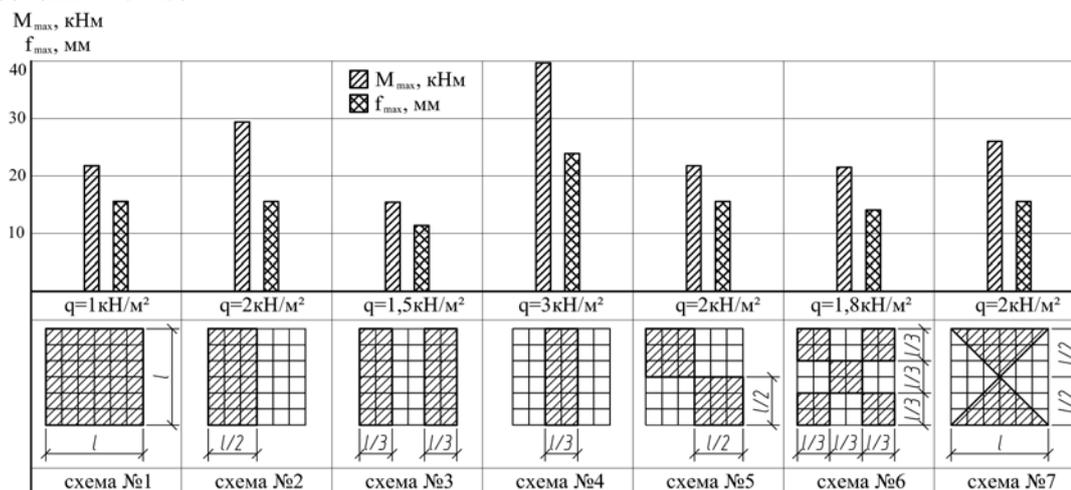


Рис.4. Максимальные значения моментов и прогибов для различных вариантов распределённых нагрузок, действующих на ортогональную структуру

Наиболее невыгодными для структур оказались загрузки на действие распределённой нагрузки на часть площади, а именно схемы №2, 4 и 7 (рис.4), т.е. те случаи, когда в восприятии нагрузки участвует несколько балок, на которые действует нагрузка.

Схема опирания балочной структуры на нижележащие конструкции существенно влияет как на её технико-экономические показатели, так и на расширенную унификацию балочных элементов. Экономичные по расходу материалов решения могут быть получены как при расстановке опор по контуру, так и при расположении их внутри здания.

Для оценки влияния расстановки опорных стоек на максимальные изгибающие моменты в балках была рассмотрена структурная схема, с размерами в плане  $12 \times 12$  м. Структура была рассчитана на 12 различных вариантов расстановки опорных стоек, представленных на рис.5.

Все схемы можно разбить на четыре группы:

1. Контурное опирание балок, при котором опоры, поддерживающие их, расположены по периметру (рис.5, а, б, в, г);
2. Внутриконтурное опирание балок с консолями (рис.5, д, е, ж, и);
3. Смешанное опирание балок, при котором опорные стойки расположены частично по контуру и частично внутри конура конструкции, образуя регулярную (рис.5, к) и нерегулярную (рис.5, л, м) сетки колонн;
4. Свободное опирание балок, при котором внутренние и наружные опоры ставятся произвольно (рис.5, н).

Учитывая то, что опорные стойки увеличивают общий объём материала на балочное покрытие, для более объективной оценки технико-экономические показатели рассматриваемых вариантов подсчитывались по общему расходу древесины на балки и на колонны. В табл. 1 приводятся показатели расхода древесины по вариантам, а также величины  $M_{\max}$  и  $f_{\max}$  в балках.

Как видно по данным таблицы, в зависимости от расстановки опорных стоек расход древесины на покрытие колеблется в пределах от  $9,18 \text{ м}^3$  до  $17,88 \text{ м}^3$ , т.е. может отличаться почти в два раза. Следует отметить, что наиболее экономичными вариантами по расходу материалов являются структуры с консольными балками (в основном это варианты второй группы). Наличие консолей в балках, особенно в наиболее загруженных, приводит к уменьшению максимальной величины изгибающих моментов и прогибов в пролёте, что отражается на размерах поперечного сечения, а следовательно, и на общем расходе материала.

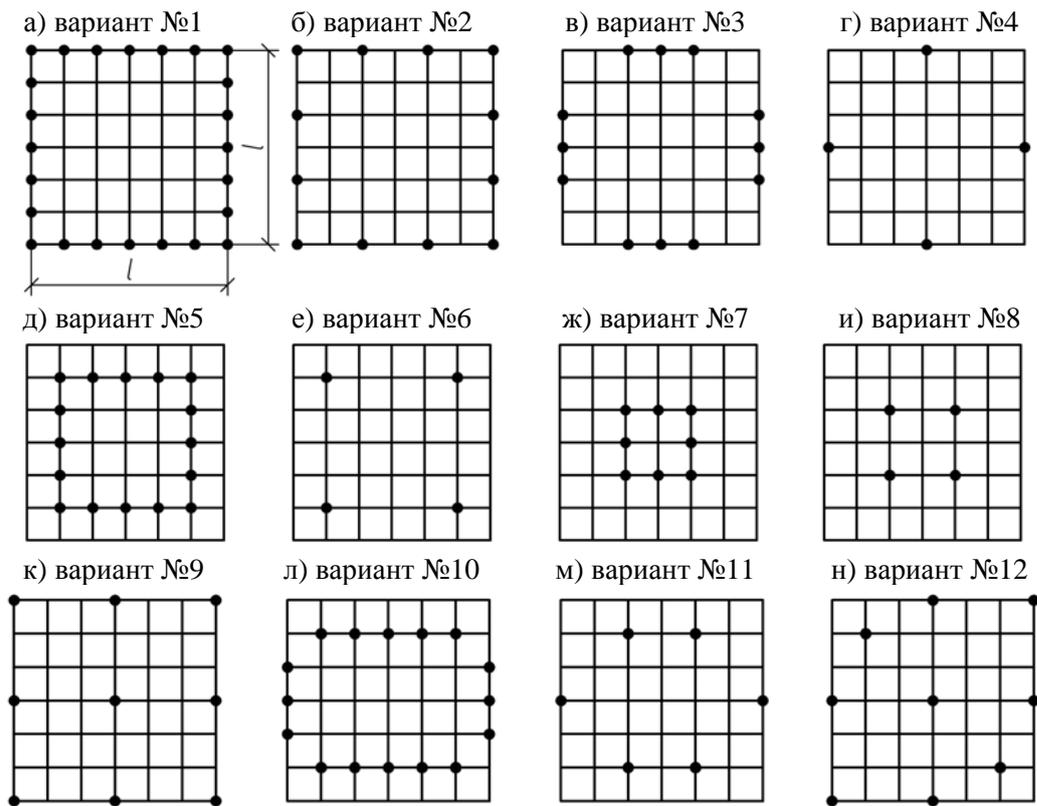


Рис.5. Варианты расстановки опорных стоек

Т а б л и ц а 1

Результаты расчёта балочных структур с различными вариантами расстановки опорных стоек

Номер варианта расстановки опорных стоек	Сечение балочных элементов структуры, мм	Кол-во стоек, шт.	Расход древесины, м <sup>3</sup>			$M_{\max}$ , кН·м	$f_{\max}$ , мм	Решающий критерий подбора сечения балок
			на балочные элементы	на стойки	всего каркаса			
1	120×608	24	8,76	9,12	17,88	61,90	42,8	$f_{\max}$
2	120×646	12	9,30	4,56	13,86	89,62	46,1	$f_{\max}$
3	120×646	12	9,30	4,56	13,86	87,29	45,4	$f_{\max}$
4	120×912	4	13,13	1,52	14,65	202,27	33,4	$M_{\max}$
5	120×266	16	3,83	6,08	9,91	12,30	34,1	$f_{\max}$
6	120×532	4	7,66	1,52	9,18	74,38	32,9	$M_{\max}$
7	120×532	8	7,66	3,04	10,70	76,54	40,1	$M_{\max}$
8	120×570	4	8,21	1,52	9,73	62,65	41,1	$f_{\max}$
9	120×570	9	8,21	3,42	11,63	86,49	45,9	$M_{\max}$
10	120×342	16	4,92	6,08	11,02	31,78	48,0	$f_{\max}$
11	120×532	6	7,66	2,28	9,94	67,69	40,9	$f_{\max}$
12	120×722	9	10,40	3,42	13,82	87,97	45,0	$f_{\max}$

Влияние пролёта на технико-экономические характеристики можно проследить по вышеприведённым данным. Так, по рис.1 можно сделать вывод, что для различных схем структур и независимо от принятого метода расчёта увеличение пролёта в два

раза, например с 12 м до 24 м, приводит к увеличению максимального изгибающего момента более чем в восемь раз. Если сравнить результаты расчёта структур пролётом 6 м и 24 м, то это увеличение составит несравнимо большую величину. Аналогичную картину можно проследить и по рис.3, где представлены сравнительные графики с  $M_{\max}$  для структур с разными решениями узлов, включая жёсткие и шарнирные. По данным этих рисунков можно также отметить очень резкое увеличение  $M_{\max}$  при пролёте  $l=24$ м по сравнению с  $M_{\max}$  для меньших пролётов. В целом следует отметить, что балочные структуры необходимо применять для пролётов не больше чем 24 м, при этом учесть рекомендации по рациональному размещению опорных стоек.

По результатам проведённых расчётов, связанных с поиском рациональных конструктивных решений и оптимизации балочных структур по расходу материалов, можно сделать следующие выводы и рекомендовать:

1. Обосновано выполнение статических расчётов по определению расчётных усилий и прогибов балочных структур с различной сеткой взаимного расположения балок с использованием программных комплексов, основанных на методе конечных элементов.

2. Рекомендуется наиболее нагруженные балки выполнять увеличенного сечения, а балки, испытывающие действие меньших усилий выполнять с поперечными сечениями уменьшенных размеров. В зависимости от схемы балочной структуры рекомендуются 2 или 3 типоразмера балок.

3. Промежуточные узлы балок структур рекомендуется выполнять жёсткими. Это приводит к уменьшению максимальных изгибающих моментов в балках почти в 3 раза по сравнению с таковыми в структурах с шарнирными узлами.

4. Показано, что величина пролёта оказывает существенное влияние на максимальные усилия и прогибы, а следовательно, на экономичность балочных структур. Рекомендуемыми могут быть пролёты структур до 24 м.

5. Применение контурных несущих балок, входящих в общую сетку структуры без промежуточных опор, не целесообразно, поскольку в них возникают усилия, значительно превышающие усилия в других балках.

Место расположения опорных стоек очень существенно влияет на экономичность структурного покрытия, поэтому при выборе оптимальной конструкции необходимо учесть такое расположение стоек, которое, с учётом технологических возможностей проектируемого здания, даёт наиболее экономичное решение. Смещение опорных стоек внутрь здания – предпочтительнее, т.к. это приводит к уменьшению пролётных изгибающих моментов.

#### Список литературы

1. Вдовин, В.М. Вклеенные металлические шайбы в соединениях деревянных конструкций: моногр. / В.М. Вдовин, М.В. Арискин, Д.Д. Дудорова (Ишмаева). – Пенза: ПГУАС, 2012. – 184 с.
2. Вдовин, В.М. Конструкции из дерева и пластмасс / В.М. Вдовин. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 345 с.

#### References

1. Vdovin, V.M. Glued-in metal washers in wooden structure connections: monogr. / V.M. Vdovin, M.V. Ariskin, D.D. Dudorova. – Penza: PGUAS, 2012. – 184 p.
2. Vdovin, V.M. Wooden and plastic structures / V.M. Vdovin. – Rostov-on-Don: Phoenix, 2007. – 345 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Вдовин Вячеслав Михайлович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»

**Ишмаева Дарья Дмитриевна**,  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: ishmaeva.dd@gmail.com

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Vdovin Vyacheslav Mikhailovich**,  
Candidate of Science, Professor of the  
department «Building construction»

**Ishmaeva Darya Dmitrievna**,  
Postgraduate of the department «Building  
construction»  
E-mail: ishmaeva.dd@gmail.com

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЁСТКИХ УЗЛОВ БАЛОЧНЫХ СТРУКТУР ИЗ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.М. Вдовин, Д.Д. Ишмаева

Представлены результаты экспериментального исследования жёсткого узла сопряжения перекрёстно-балочной структуры из клеёных деревянных элементов на вклеенных стальных шайбах по разным схемам нагружения.

*Ключевые слова: жёсткий узел, клеёная деревянная балка, стальные шайбы, балочная структура*

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF RIGID CONNECTIONS OF BEAM STRUCTURES MADE FROM GLUED WOODEN ELEMENTS

V.M. Vdovin, D.D. Ishmaeva

The functioning of rigid connection of cross-beam structure made from glued wooden elements with glued-in steel washers is investigated. Different variants of loading are considered. The results of experimental investigation with analysis and assessment are presented.

*Keywords: rigid connection, glued laminated beams, steel washers, beam structure*

Балочные структуры, состоящие из клеёных деревянных элементов, расположенных под разными углами друг к другу, вызывают особый интерес в практике строительства, поскольку имеют ряд существенных достоинств перед другими видами несущих конструкций. Эти достоинства выражаются как в архитектурном, конструктивном, так и в технологическом превосходстве балочных структур, что в целом приводит к улучшению технико-экономических показателей при строительстве зданий павильонного типа с пролётами до 24 м.

Однако слабым местом балочных структур является отсутствие надёжных и рациональных конструкций жёстких узлов балочных элементов в местах их взаимного пересечения. В [1, с.144-162] даётся анализ существующих конструктивных решений жёстких узлов балочных структур и предлагаются прогрессивные направления в создании их с учётом современных эффективных видов соединений деревянных конструкций. Одним из таких видов жёстких узлов балочных структур, на наш взгляд, являются узлы, выполненные с применением вклеенных стальных шайб. Конструкция одного из таких узлов представлена на рис.1.

К достоинствам этого узла относится то, что усилия от изгибающего момента стыкуемых балочных элементов передаются с помощью вклеенных в древесину стальных шайб. Вклеенная шайба работает совместно с древесиной, способствует перераспределению локальных напряжений смятия и скалывания на большую пло-

щадь по сравнению с размерами самой шайбы, что приводит к увеличению несущей способности такого соединения в несколько раз по сравнению с несущей способностью соединения на болтах.

Соединение на клеенных шайбах достаточно новое, некоторые результаты исследования его действительной работы представлены в [1]. Однако работа клеенных шайб в системе жёсткого узла взаимно перекрёстных балок и возможность обеспечения работы узла как жёсткого сопряжения требует дополнительного исследования и выработки рекомендаций по особенностям проектирования таких узлов.

Для более детального изучения работы жёстких стыков деревянных элементов с применением клеенных стальных шайб ниже приведены результаты экспериментального исследования жёсткого узла балочной структуры, представленного на рис.1.

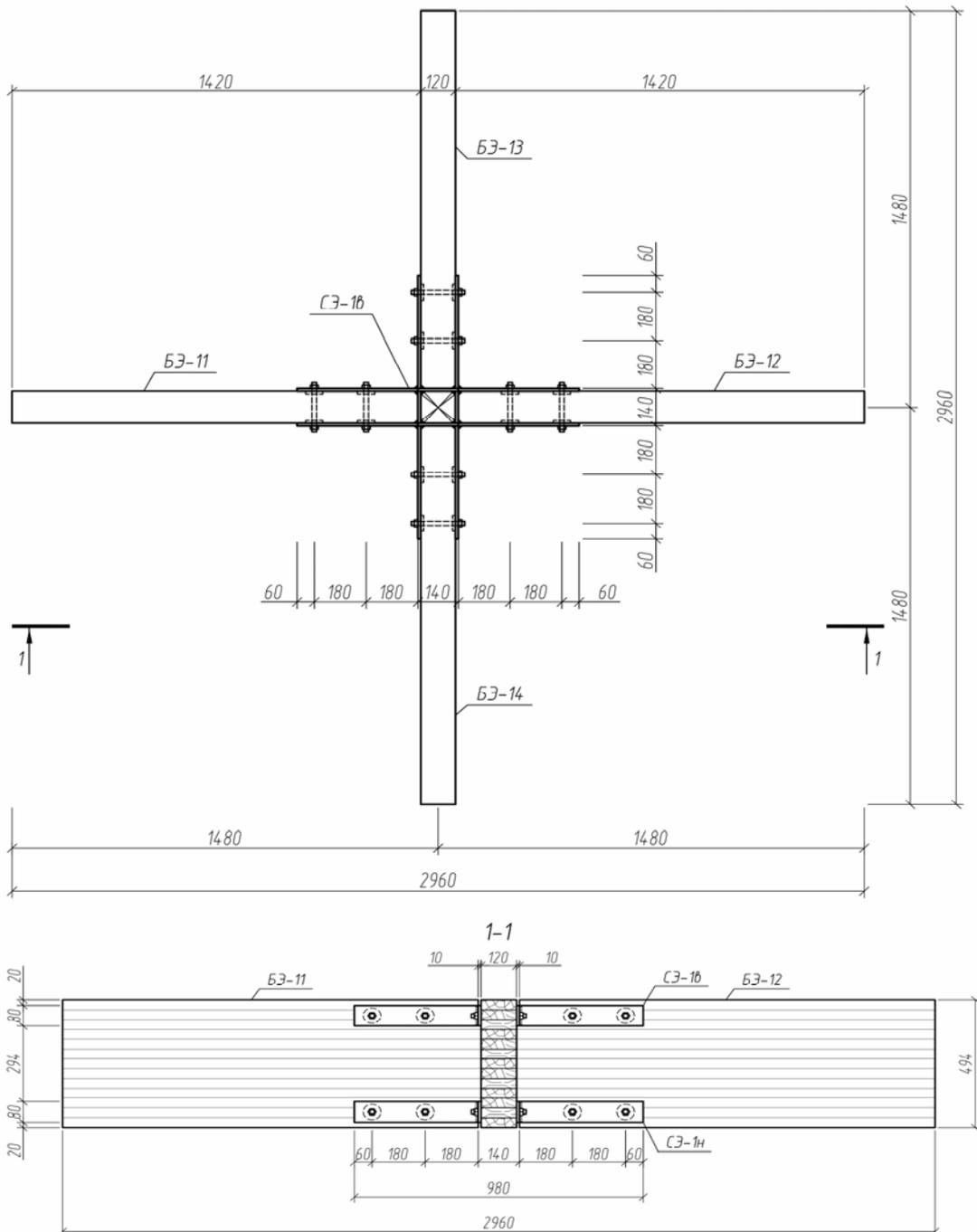


Рис.1. Жёсткий узел сопряжения клеёных деревянных элементов балочной структуры с применением клеенных стальных шайб

Ввиду особой сложности реализации эксперимента на натурной конструкции структуры принято возможным провести оценку поставленных экспериментом задач на отдельном фрагменте, включающем характерный узел с жёстким сопряжением балочных элементов друг с другом.

Испытываемый фрагмент жёсткого узла был собран из четырёх клеодошчатых элементов сечением 120×494 мм, длиной 1480 мм. Материал – древесина сосны второго сорта с влажностью, близкой к  $W=12\%$ .

Цели исследования предусматривали изучение действительной работы жёсткого узла сопряжения элементов балочной структуры под нагрузкой в условиях, приближенных к реальной конструкции, и оценку возможности использования предлагаемой конструкции узла в качестве жёсткого сопряжения балочных элементов пространственной структуры.

Реализация поставленных целей включала в себя решение следующих основных задач:

- разработку конструкции жёсткого узла с применением клеенных шайб и отладку технологии изготовления предлагаемых узлов;
- разработку методики испытаний и проведение эксперимента;
- выявление характера работы сопряжения клеодошчатых элементов структуры с применением клеенных стальных шайб под нагрузкой;
- определение прогибов и оценку жёсткости узлового сопряжения балочных элементов;

– выявление и оценку напряжённо-деформированного состояния балочных элементов и составление рекомендаций по проектированию жёстких узлов структур с применением клеенных стальных шайб. Конструкция узла выполнена на основе применения соединения на клеенных стальных шайбах. В основе такого соединения лежит металлическая шайба, клеенная в специально выбранное гнездо, передающая деревянному элементу усилия, сосредоточенно воспринимаемые ею от металлического болта. Шайба в этом случае начинает работать не только на скалывание клеевого шва по поверхности, но и на смятие древесины по торцу шайбы. Введение полимерной клеевой композиции в кольцевое гнездо позволяет не только быстро и полно включиться в работу металлической шайбы, но также способствует локальному упрочнению древесины по периметру. Всё это в целом увеличивает несущую способность соединения и уменьшает его деформативность.

Для испытания используются металлические шайбы диаметром  $D_{ш}=60$  мм и толщиной  $t_{ш}=10$  мм, изготовленные из стали класса С255 и клеевая композиция на основе эпоксидной смолы ЭД-15.

Для полного восприятия возникающих в узле усилий, при условии выполнения соединения равнопрочного цельному сечению, достаточно поставить по 2 шайбы сверху и снизу соответственно для восприятия растягивающей и сжимающей силы в каждом элементе балки.

При расстановке шайб соблюдались условия, отмеченные в [1, с.81]: расстояние между соседними шайбами в ряду –  $S_1=3 \cdot D_{ш}=180$  мм, расстояние от кромки балочного элемента до центра шайбы –  $S_2= D_{ш}=60$  мм.

Технология изготовления узлов клеёных балочных элементов с применением клеенных стальных шайб достаточно подробно освещена в работе [1, с.166-170].

Испытательная установка представляла собой две силовые балки, расположенные в разных уровнях во взаимно перпендикулярном направлении, на которые установлена модель узла на четырёх опорах. Для балок каждого направления одна из опор – неподвижная, а другая – подвижная. Для обеспечения устойчивости балочных элементов узла из плоскости их опорные сечения были раскреплены тяжами к силовым балкам.

Нагрузка создавалась гидравлическими домкратами с использованием силовой балки и тяжей, место расположения которых менялось для различных схем загрузения.

В процессе испытания измерялись прогибы в каждом балочном элементе, для определения которых расставлены прогибомеры Аистова: П-1 – на опоре балочного элемента БЭ-11; П-2 – на опоре БЭ-12; П-3 – на опоре БЭ-13; П-4 – на опоре БЭ-14; П-5 – в узле сопряжения элементов. Для детального исследования НДС на древесину были наклеены тензометрические датчики Т-1÷Т-30, выполненные из константановой проволоки на бумажной основе с базой 20 мм. Для записи данных изменения деформаций с тензодатчиков использовалась «Микропроцессорная многоканальная тензометрическая станция ММТС-64.01». Схемы расстановки измерительных приборов представлены на рис.2.

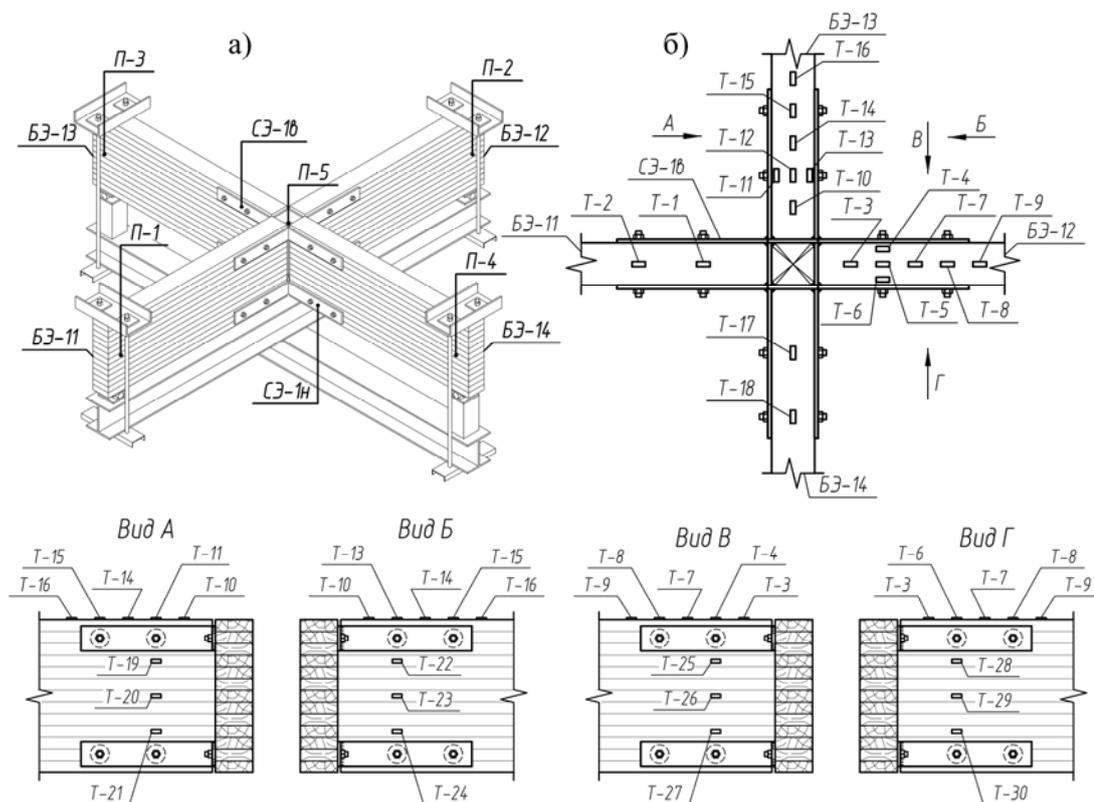


Рис.2. Схема расстановки приборов на испытываемый узел:  
а – схема расстановки прогибомеров, б – схема наклейки тензодатчиков

С целью оценки работы узла на «невыгодные» случаи действия возникающих усилий, возможных в реальных конструкциях структур, модель узла испытывалась на различные схемы загрузки (рис.3).

Схема №1. Симметричное нагружение всех четырёх балочных элементов одной силой в центре узла (рис.3,а);

Схема №2. Одностороннее нагружение одного из элементов (рис.3,б);

Схема №3. Загружение двух элементов одного направления (рис.3,в);

Схема №4. Загружение двух ортогональных элементов (рис.3,г).

Все схемы нагружений предварительно были рассчитаны на статические нагрузки с помощью программно-вычислительного комплекса SCAD.

Нагружение узла структуры осуществлялось ступенями с шагом  $\Delta P=15\text{кН}$  для схем нагружения №1 и №2 и  $\Delta P=15\cdot 2=30\text{кН}$  – для схем №3 и №4. Скорость нагружения принималась непрерывной и равномерной с фиксацией конечного времени. После завершения испытаний по каждой из схем опытную конструкцию разгружали и выдерживали перед проведением последующих испытаний не менее трёх суток. Общий вид испытания узла показан на рис.4.

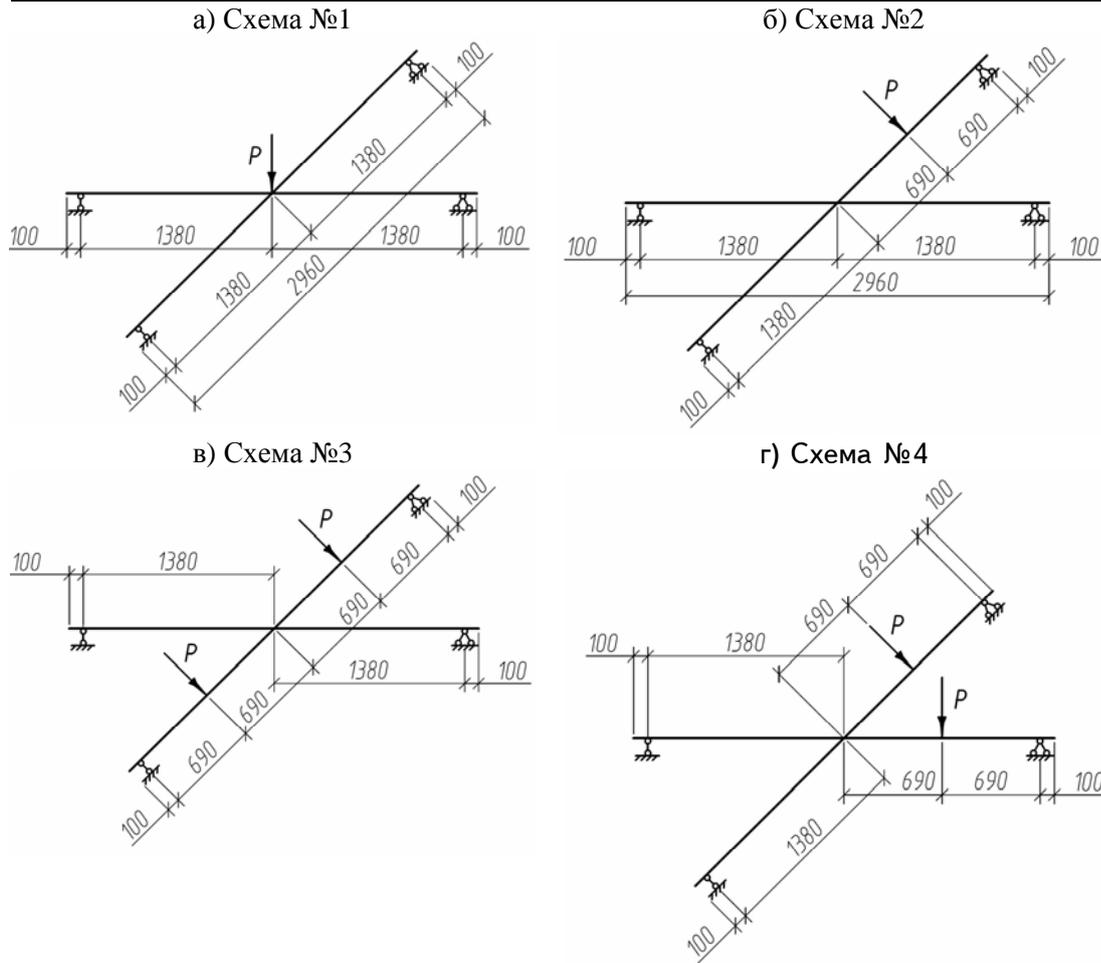


Рис. 3. Схемы передачи нагрузки на испытываемый узел

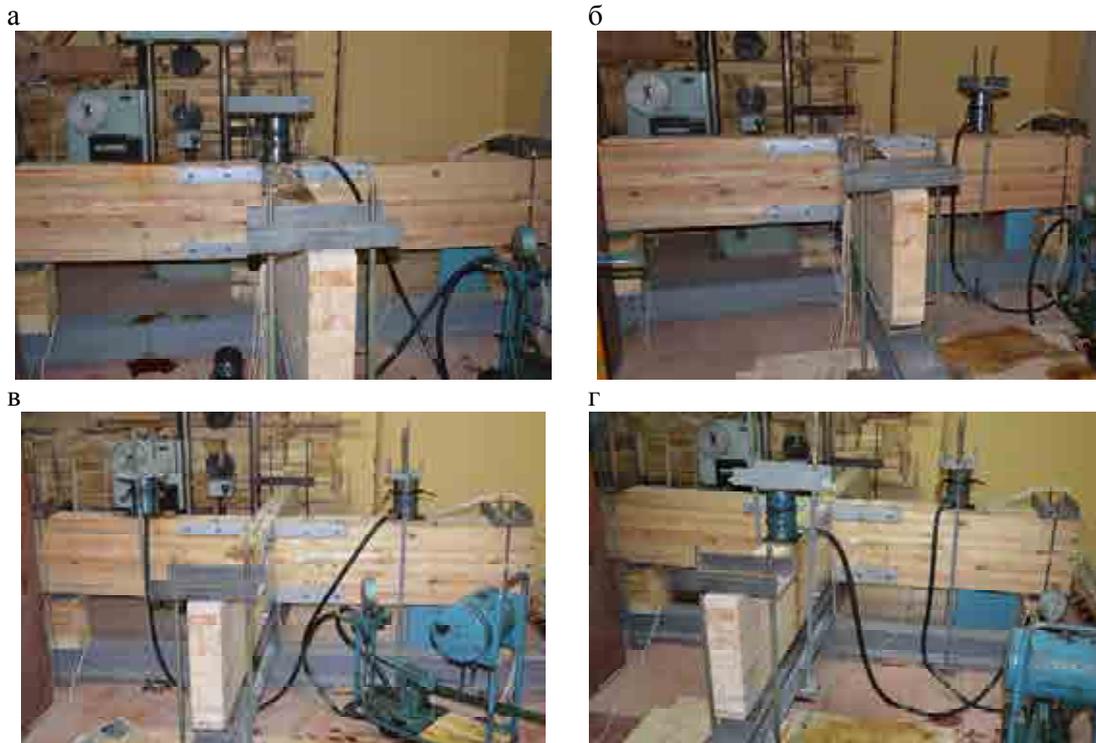


Рис.4. Общий вид испытания жёсткого узла балочной структуры:  
а – по схеме №1; б – по схеме №2; в – по схеме №3; г – по схеме №4

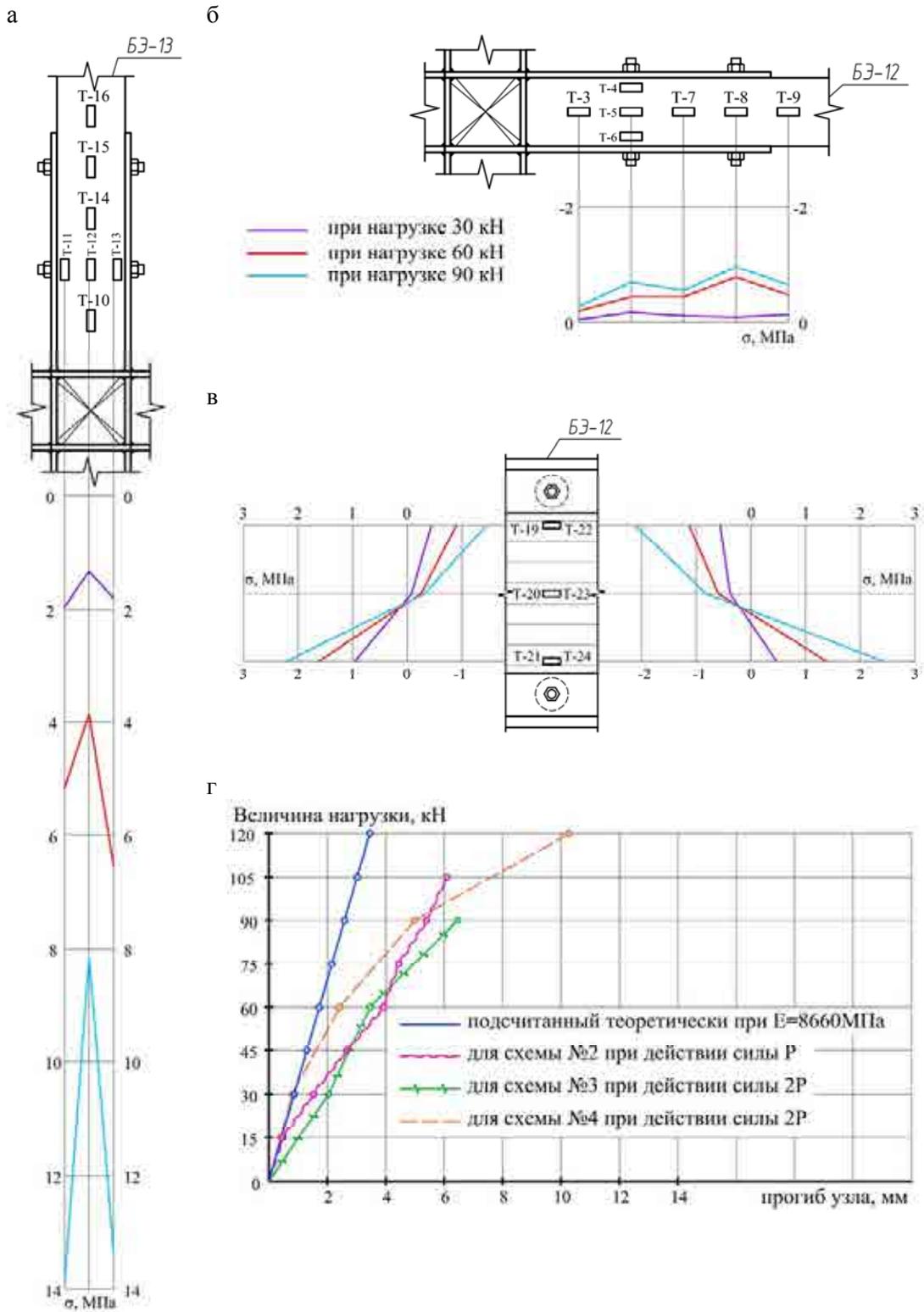


Рис. 5. Нормальные напряжения в балочных элементах испытываемого узла и зависимость прогибов узла в середине пролёта от нагрузки:

а – распределение напряжений по датчикам T11-T13 при испытании по схеме №2;

б – распределение напряжений по датчикам T3-T9 при испытании по схеме №3;

в – распределение напряжений по датчикам T19-T24 при испытании по схеме №3;

г – график зависимости прогибов узла в середине пролёта от нагрузки для разных схем нагружения

В результате проведённого эксперимента выявлено напряжённо-деформированное состояние вблизи стыков клеодошчатых элементов, доля участия каждого структурного элемента в восприятии нагрузок, действующих на отдельные балочные элементы, получена картина деформированного состояния жёсткого узла при разных схемах загрузки балочных элементов структуры.

По результатам показаний датчиков, расставленных на участках вблизи сопряжения балочных элементов, можно констатировать, что передача усилий от одних балочных элементов другим носит локальный характер, который можно проследить по графикам рис.5,а (датчики Т11-Т13). Они показывают, что напряжения по ширине сечения, где вклеены шайбы, распределяются неравномерно с определённым увеличением в крайних зонах (где шайбы) и некоторым уменьшением их по средней линии элемента.

Аналогичную картину можно наблюдать и по длине элемента. На рис.5,б видно, что в местах постановки вклеенных шайб имеет место увеличение напряжений  $\sigma$ , а на участке между шайбами некоторое их затухание.

Нормальные напряжения имеют локальный характер, создавая определённую напряжённую зону вблизи вклеенных шайб. По мере удаления от шайбы нормальные напряжения  $\sigma$  имеют закон распределения, близкий к теоретическому, принятому при поперечном изгибе балки (рис.5,в).

На рис.5,г показаны графики зависимости “нагрузка  $P$  – деформация  $f$ ” по разным схемам нагружения. Экспериментальные графики мало отличаются от теоретических и подтверждают их упругую зависимость, хотя с увеличением нагрузки возрастает доля пластической работы, которая является результатом деформативности болтов.

В результате проведённого эксперимента выявлены следующие закономерности в работе испытываемого узла:

- максимальный прогиб всего узла не зависит от того, приложена ли сила  $P$  в четвертях пролёта к двум балкам или в виде силы  $2P$  к одной балке;
- прогибы всего узла от одной силы  $P$ , действующей на одной балке или на перпендикулярной ей балке, одинаковые. Это говорит о том, что балки соединяются жёстко в узле и работают вместе, поддерживая друг друга;
- прогибы загруженной балки в пролёте несколько больше, чем прогибы в незагруженной балке, но разница в их величинах незначительная. Это говорит о том, что балки работают совместно за счёт жёсткого узла.

На основе анализа результатов проведённого эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Конструкция узла с применением вклеенных металлических шайб позволяет рассматривать его как жёсткий, обеспечивающий совместную работу всех состыкованных балочных элементов и тем самым считать сходящиеся в узле балочные элементы как единое целое.

2. Совместность работы балочных элементов в узле подтверждает тот факт, что вертикальное перемещение (прогиб) узла в целом не зависит от того, какой балочный элемент нагружен силой  $P$  одного или другого направления.

3. Напряжённое состояние балочных элементов на участке вблизи узла характеризуется локальной передачей усилий через вклеенные металлические шайбы. Вблизи шайб имеет место определённый всплеск напряжений со стороны упора шайбы в древесину с последующим затуханием на участке между шайбами. Вовлечение в работу нескольких шайб способствует перераспределению узловых усилий на большую площадь стыкуемых элементов и повышает тем самым общую надёжность в работе узлового сопряжения.

#### Список литературы

1. Вдовин, В.М. Вклеенные металлические шайбы в соединениях деревянных конструкций: моногр. / В.М. Вдовин, М.В. Арискин, Д.Д. Дудорова (Ишмаева). – Пенза: ПГУАС, 2012. – 184 с.

#### References

1. Vdovin, V.M. Glued-in metal washers in the of wooden structure connections: monograph. / V.M. Vdovin, M.V. Ariskin, D.D. Dudorova. – Penza: PGUAS 2012. – 184 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Кочеткова Майя Владимировна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительства»  
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

**Гончаренко Ольга Андреевна**,  
студентка

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Kochetkova Maya Vladimirovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of  
the department «Quality management and  
technology of building production»  
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

**Goncharenko Olga Andreevna**,  
student

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В МНОГОРЯДНЫХ СВАЙНЫХ РОСТВЕРКАХ ПОД КОЛОННЫ

М.В. Кочеткова, О.А. Гончаренко

Приведены опытные данные о неравномерном распределении нагрузки между сваями на основе характера распределения растягивающих деформаций в нижней части ростверка, усреднённых деформаций сжатия над сваями-опорами в зависимости от схемы и процента армирования.

*Ключевые слова: ростверки под колонну при многорядном расположении свай, напряженно-деформированное состояние, физический эксперимент*

## DISTRIBUTION OF STRESSES AND STRAINS IN MULTILANE PILE GRILLAGE UNDER COLUMNS

M.V. Kochetkova, O.A. Goncharenko

Experimental data on uneven distribution of load between piles based on the character of distribution of tensile strain at the bottom of the grillage averaged strain-compression over piles supports depending on the pattern and percentage of reinforcement are presented.

*Keywords: grillage with piles in several rows, stress-strain state, physical experiment*

Ростверк под колонну опирается на сваи, количество которых может составлять 3–4 или, при многорядном расположении свай, 5–12. Существующие методы расчёта не разделяют эти две группы ростверков под колонны, предполагая, что все сваи работают одинаково и общая нагрузка делится между ними поровну. Наш эксперимент опровергает это предположение.

Опытные образцы проектировали в виде моделей в масштабе 1:3. Шаг свай в продольном направлении –  $3 d_{св}$ , в поперечном –  $4 d_{св}$  ( $d_{св}$  – сторона поперечного сечения сваи, с учётом масштаба – 100 мм). Высота ростверков 220 мм, размер поперечного сечения колонны 200×300 мм были назначены на основе результатов исследований нормативных методов расчета. Использовали различную арматуру и вид армирования. Наряду с армированием сеткой было применено армирование с концентрацией стержней над опорами-сваями. Характеристики опытных образцов и физико-механические свойства арматуры приведены в табл. 1, 2. На рис.1 показаны опалубочные размеры и схемы армирования опытных образцов с количеством свай, равным восьми; в табл. 3 представлена спецификация арматуры.

Характеристика опытных образцов

№ п/п	Марка образцов	Характеристики бетона			Класс арматуры	Геометрические размеры				
		$R_b$ , МПа	$E_b \times 10^{-3}$ , МПа	$R_{bt}$ , МПа		$B$ , см	$L$ , см	$h$ , см	$d_{св}$ , см	$b_k \times h_k$
1	РК-1	10,6	19,2	0,86	А-III	60	110	22	10	20×30
2	РК-1В	12,2	20,7	0,94	А-III	60	110	22	10	20×20
3	РК-2	12,2	20,7	0,94	Вр-1	60	110	22	10	20×30
4	РК-5	12,2	20,7	0,94	Вр-1	60	110	22	10	20×30

Т а б л и ц а 2

Физико-механические свойства арматуры

Класс арматуры	Диаметр	Площадь поперечного сечения стержня $A_s$ , см <sup>2</sup>	Временное сопротивление $\sigma_b$ , МПа	Нормативное сопротивление арматуры $R_{sc}$ , МПа	Модуль упругости $E_s$ , МПа
Вр-1	Ø 4	0,126	650	487	$17 \times 10^3$
Вр-1	Ø 5	0,196	560	420	$17 \times 10^3$

Т а б л и ц а 3

Спецификация арматуры

Номер позиции	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
	РК-1	Ростверк под колонну	2 шт.	$n = 8$ $\mu_s \max$
	С-1	Сварная сетка		
1		Ø10 АIII $\ell = 0,82$	21	
2		Ø12 АIII $\ell = 1,32$	11	
3		Ø10 АIII $\ell = 0,82$	8	
4		Ø10 АIII $\ell = 1,32$	4	
	РК-2 РК-5		1 шт. 1 шт.	$n = 8$ $\mu_s \min$
	С-2	Сварная сетка		
1		Ø4 Вр I $\ell = 0,82$	21	
2		Ø5 Вр I $\ell = 1,32$	11	
	РК-5		1 шт.	$n = 8$ $\mu_s \min$
	С-5	Сварная сетка		
1		Ø4 Вр I $\ell = 0,82$	20	
2		Ø5 Вр I $\ell = 1,32$	11	

Нагружение ростверков производили гидравлическим домкратом ДГ-200 через металлическую пластину, имитирующую колонну. В ходе экспериментов были измерены деформации сжатия над сваями-опорами с помощью индикаторов часового типа и тензодатчиков, растягивающие деформации в нижней части ростверка с помощью тензодатчиков, установленных на арматуру [1]. На рис. 1 показано распределение растягивающих деформаций в образце РК-1.

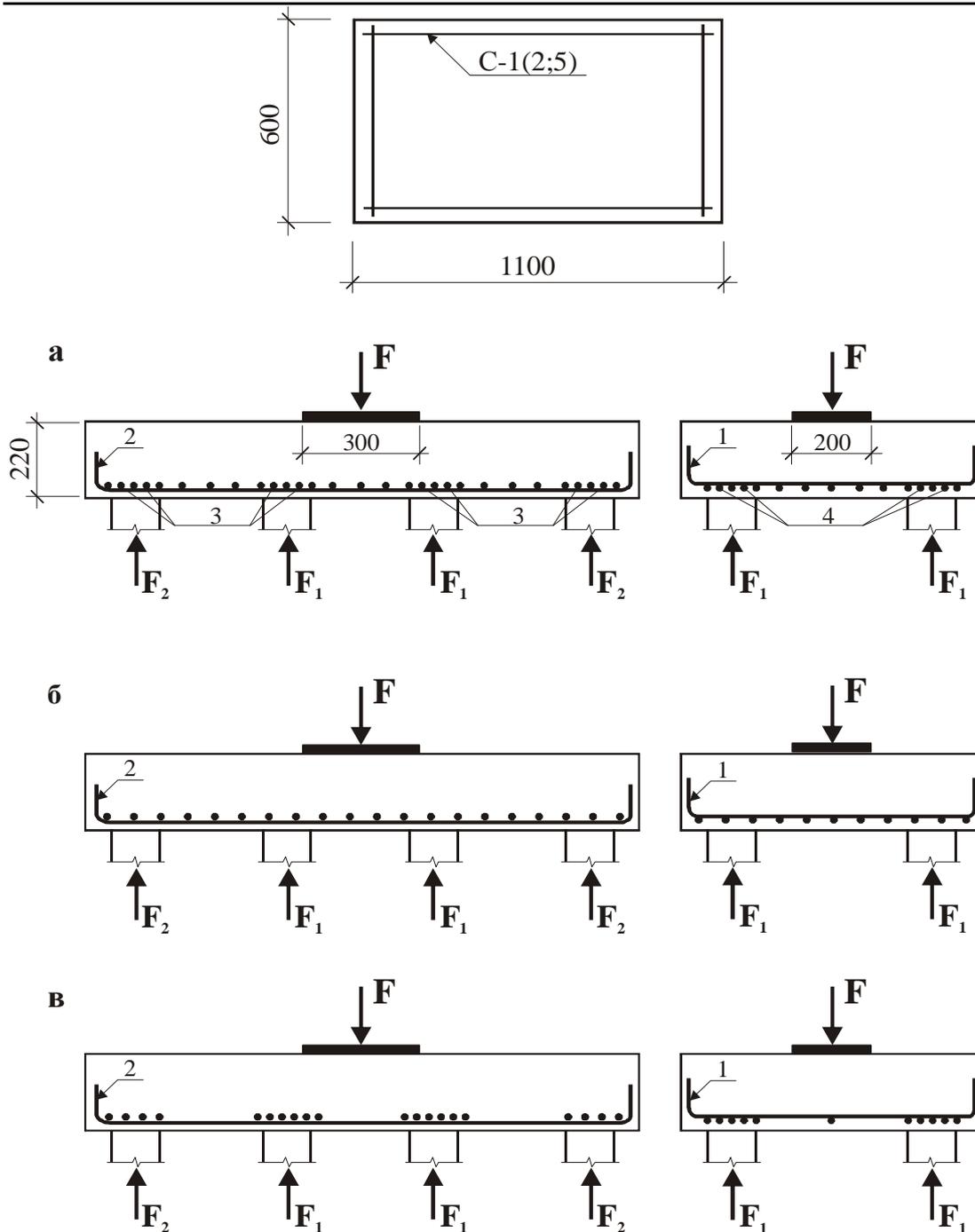


Рис. 1. Схемы армирования образцов:  
 а – РК-1 ( $\mu_s = 1,2\%$ ); б – РК 2 ( $\mu_s = 0,18\%$ ); в – РК 5 ( $\mu_s = 0,18\%$ )

В средней части ростверка арматура испытывала наибольшие растягивающие напряжения. До образования трещин (рис. 2,а) растягивающие деформации в средних стержнях продольной арматуры были больше, чем в крайних стержнях. После образования трещин ( $P=0,6 P_{\text{разр}}$ ) произошло перераспределение усилий в арматуре (рис. 2,б). Деформации в средних продольных стержнях стали близки по значению. Деформации арматуры в среднем пролете над опорами остались по-прежнему больше деформаций арматуры в крайнем пролете.

Деформации сжатия над опорами показаны на рис 3. Величина деформации менялась в зависимости от схемы армирования и состояния конструкции (до и после образования трещин).

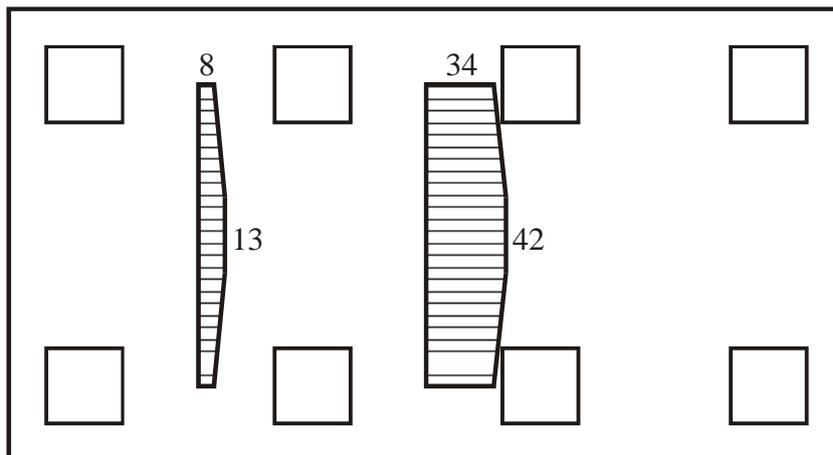
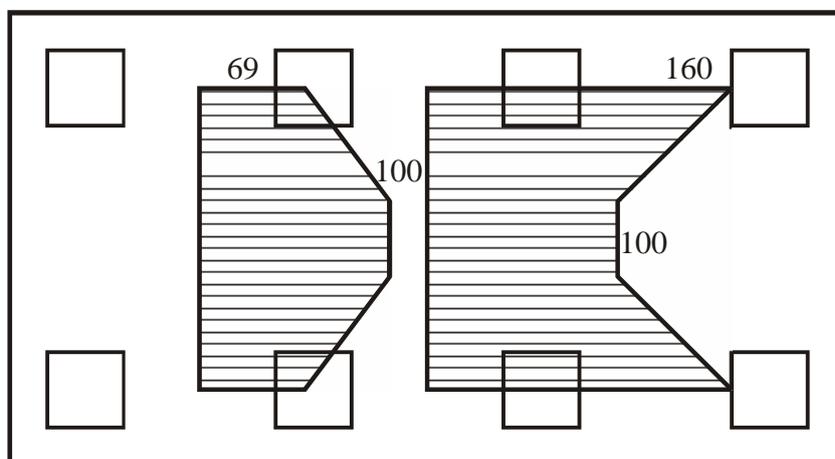
а)  $F=50$  т

 б)  $F=110$  т


Рис. 2. Эпюры распределения деформаций удлинения в арматуре по показаниям тензодатчиков (РК-1)

Результаты обработки информации позволяют сделать следующие выводы:

- В целом деформации над опорами в ростверке при большом проценте армирования  $\mu_s = \max$  меньше, чем в том же ростверке при  $\mu_s = \min$ .
- Если сравнивать два варианта с  $\mu_s = \min$  (варианты 2 и 3), то можно сказать, что концентрация арматуры привела к более равномерному распределению нагрузки между крайними и средними опорами и к меньшим деформациям опор в целом.
- После образования трещин наблюдался замедленный рост деформаций и их перераспределение.
- Перераспределение усилий после образования трещин происходило следующим образом: в местах, находящихся ближе к колонне, деформации росли быстрее, чем в удаленных точках. Более того, в удаленных точках часто наблюдалось уменьшение деформаций после образования трещин.
- Эксперимент показал, что напряжения над средними опорами больше, чем над крайними, в 2–4 раза, в зависимости от схемы и процента армирования. Над каждой опорой образуется зона сжимающих напряжений. Интенсивность напряжений зависит от места расположения сваи. Площадь сжатой зоны зависит не только от размеров поперечного сечения сваи, но и от армирования. С ростом процента армирования увеличивается площадь сжатой зоны и уменьшаются напряжения над опорой.

○ Распределение сжимающих напряжений по поперечному сечению сваи также происходило неравномерно (рис. 4). Наибольшие значения напряжений наблюдались в угловой зоне у той грани сваи-опоры, которая ближе к нагрузке.

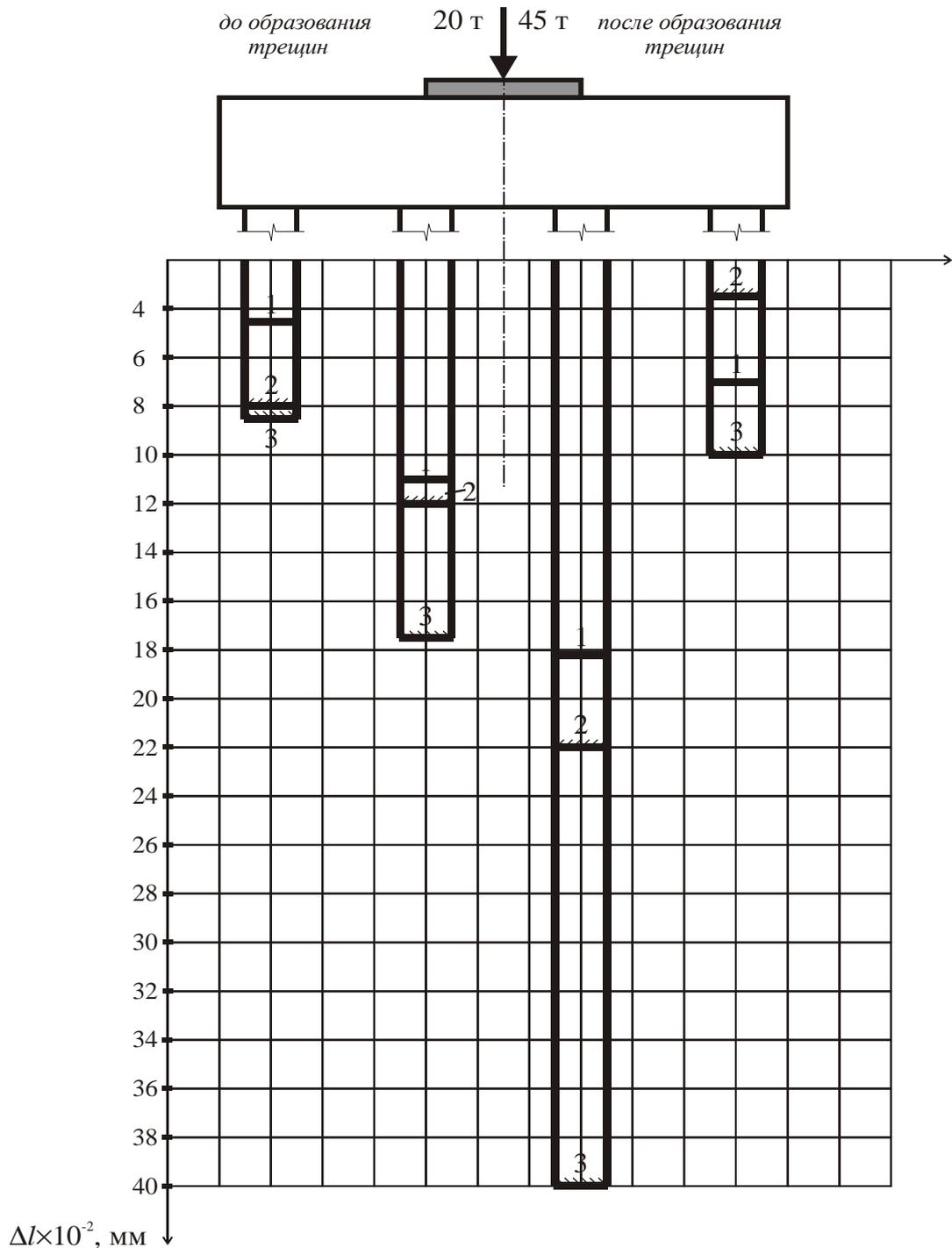
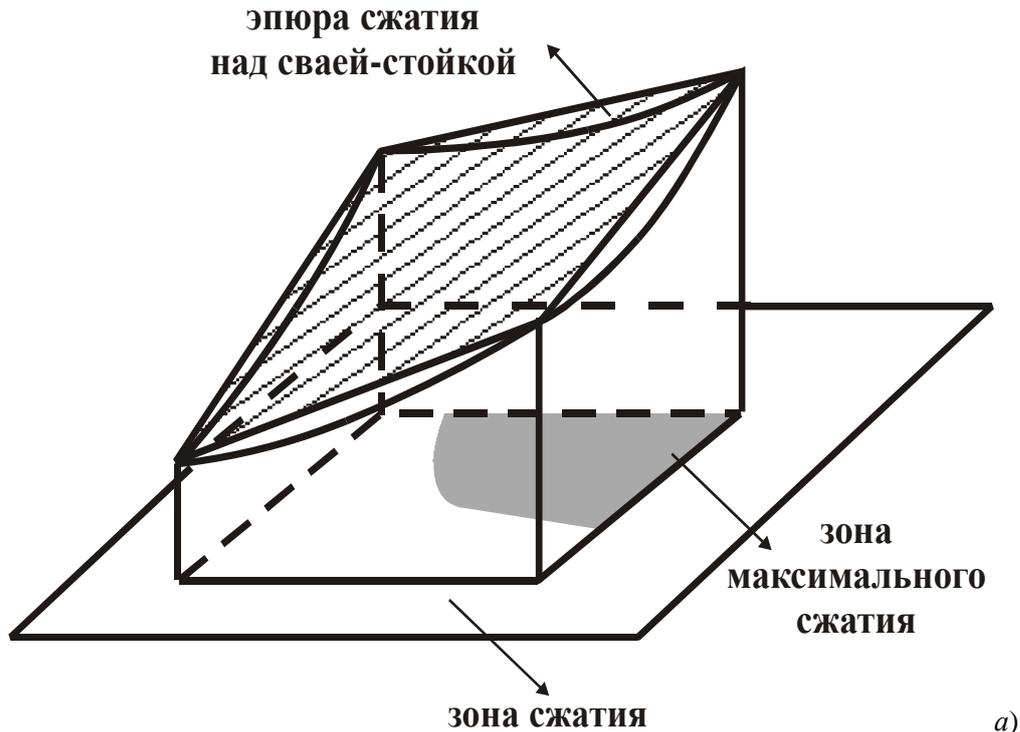


Рис. 3. Усредненные деформации сжатия над сваями-опорами в восьмисвайном ростверке в зависимости от типа армирования:  
 1 – РК-1 ( $\mu_s = 1,2\%$ ); 2 – РК-5 ( $\mu_s = 0,18\%$ ) – концентрированное армирование;  
 3 – РК-2 ( $\mu_s = 0,18\%$ ) – сетка

а



б

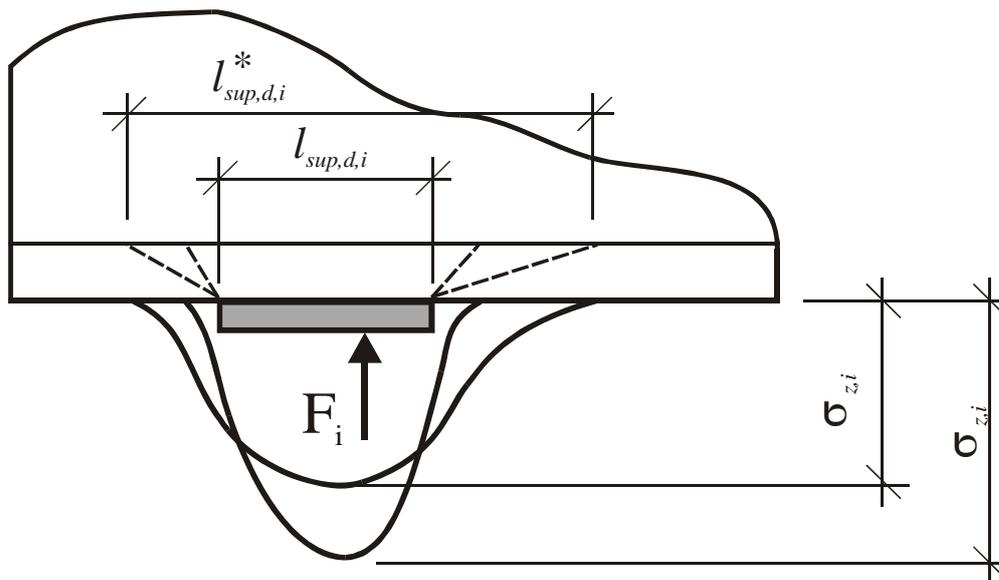


Рис. 4. Эпюры и зоны сжатия над сваей-опорой:

а – распределение сжимающих напряжений над сваей-опорой;

б – формирование площади сжатой зоны над сваей-опорой в зависимости от вида армирования

Наибольшие сжимающие напряжения наблюдались над средними опорами. Растягивающие напряжения также распределялись неравномерно: они максимально концентрировались между средними опорами. Характер разрушения и трещинообразования ростверков по сжатой (образцы РК-1, РК-1в) и растянутой (РК-2, РК-5) зонам также подтверждает эти выводы [4]. Полученные данные необходимо учесть при совершенствовании методов расчёта и конструирования ростверков.

## Список литературы

1. Кочеткова, М.В. Экспериментальная оценка работы ростверков / М.В. Кочеткова, Н.И.Гусев, О.В.Снежкина, К.С.Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1 (18).
2. Кочеткова, М.В. Совершенствование методов расчёта многорядных свайных ростверков под колонны / М.В.Кочеткова, О.В.Снежкина, А.В.Корнюхин. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 139 с.
3. Кочеткова, М.В. Методика экспериментальных исследований многорядных свайных ростверков под колонны / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, К.С. Паршина // Молодой ученый. – 2014. – №3. – С. 305–308.
4. Кочеткова, М.В. Определение схем разрушения и трещинообразования железобетонных ростверков под колонны / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, К.С. Паршина // Вестник магистратуры. – 2014. – №4. – С. 72–74.

## References

1. Kochetkova, M.V. Experimental evaluaton grillages / M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, O.V. Snezhkina, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – № 1 (18).
2. Kochetkova, M.V. Improving methods of calculation pile foundations under columns / M.V.Kochetkova, O.V.Snezhkina, A.V. Kornyuhin. – Penza: PGUAS, 2011. – 139 p.
3. Kochetkova, M.V. Methodology of experimental studies pile raft foundations under columns / M.V.Kochetkova, N.I.Gusev, K.S. Parshina // Young scientist. – 2014. – №3. – P. 305–308.
4. Kochetkova, M.V. Identification of patterns of destruction and cracking concrete raft foundations under columns / M.V.Kochetkova, N.I.Gusev, K.S. Parshina // Bulletin of the Judiciary. – 2014. – №4. – P. 72–74.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Кочеткова Майя Владимировна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

**Гусев Николай Иванович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»

**Аленкина Елизавета Сергеевна**,  
студентка

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Kochetkova Maya Vladimirovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of  
the department «Quality management and  
technology of building production»  
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

**Gusev Nikolai Ivanovich**,  
Candidate of Sciences, Professor of the  
department «Quality management and  
Technology of construction production»

**Alenkina Elizabeth Sergeevna**,  
student

## РАБОТА РОСТВЕРКОВ ПОД КОЛОННЫ ПРИ МНОГОРЯДНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ СВАЙ

М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, Е.С. Аленкина

Представлены результаты расчётов ростверков под колонны при многорядном расположении свай, опирающихся на скальный грунт, с применением программы «Лира», основанной на методе конечных элементов.

*Ключевые слова: ростверки под колонны, напряжённо-деформированное состояние, моделирование*

## GRILLAGES UNDER COLUMNS FUNCTIONING IN MULTILANE PILE LOCATION

M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, E.S. Alenkina

The results calculations of grillages under columns in multilane pile location numerical leant on rock using “LIRA” program based on the method of finite element are provided.

*Keywords: grillage under the column, stress-strain state, modeling*

Существующие методы расчёта ростверков под колонны не учитывают их сложную работу, являются приближёнными и несовершенными. Для совершенствования методов расчёта необходима информация о напряжённо-деформированном состоянии ростверков, которую можно получить в результате численного или физического экспериментов.

Рассмотрим результаты численных экспериментов двенадцатисвайных ростверков под колонны с применением программы «Лира». Варианты ростверков принимались при постоянном шаге свай в поперечном направлении 1200 мм, при постоянной высоте ростверка 900 мм и поперечном сечении свай 300×300 мм. В продольном направлении расстояние между осями свай менялось и принималось 900 мм (1-й вариант), 1200 мм (2-й вариант), 1500 мм (3-й вариант). Расчётные схемы ростверков определялись путём представления объёма ростверка в виде конечных элементов размером 100×200 мм и 150×200 мм. С центральным приложением нагрузки в расчёт принимали четвертую часть фундамента, а с внецентренным приложением нагрузки – половину фундамента. Отброшенную часть фундамента в расчётной схеме учитывали введением связи в каждом конечном элементе (рис. 1).

На рис. 2 показан характер распределения напряжений  $\sigma_y$  по оси «А», построены линии нулевых и максимальных напряжений  $\sigma_y$ .

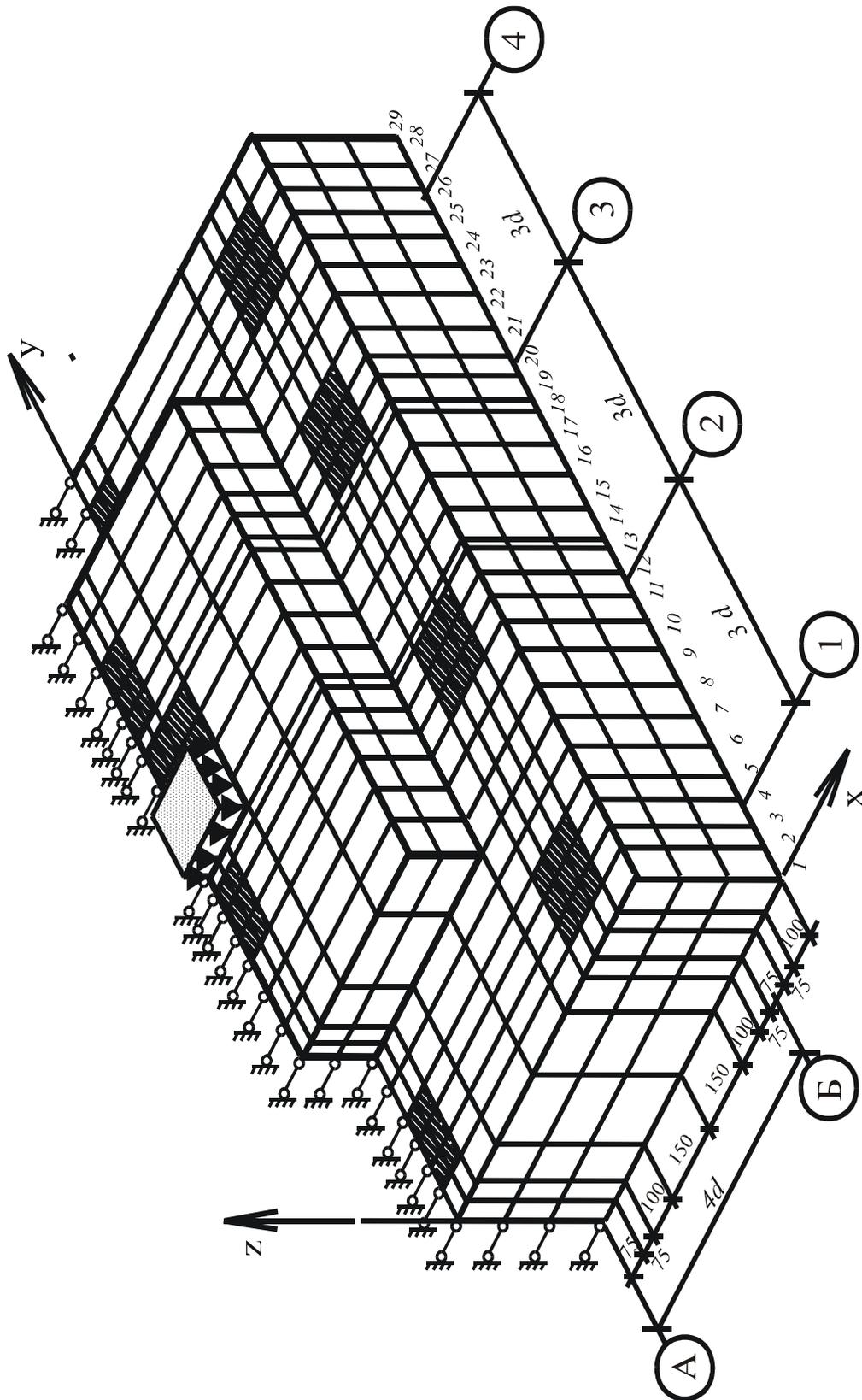


Рис. 1. Элементы МКЭ для 1-го варианта. Схема приложения нагрузки

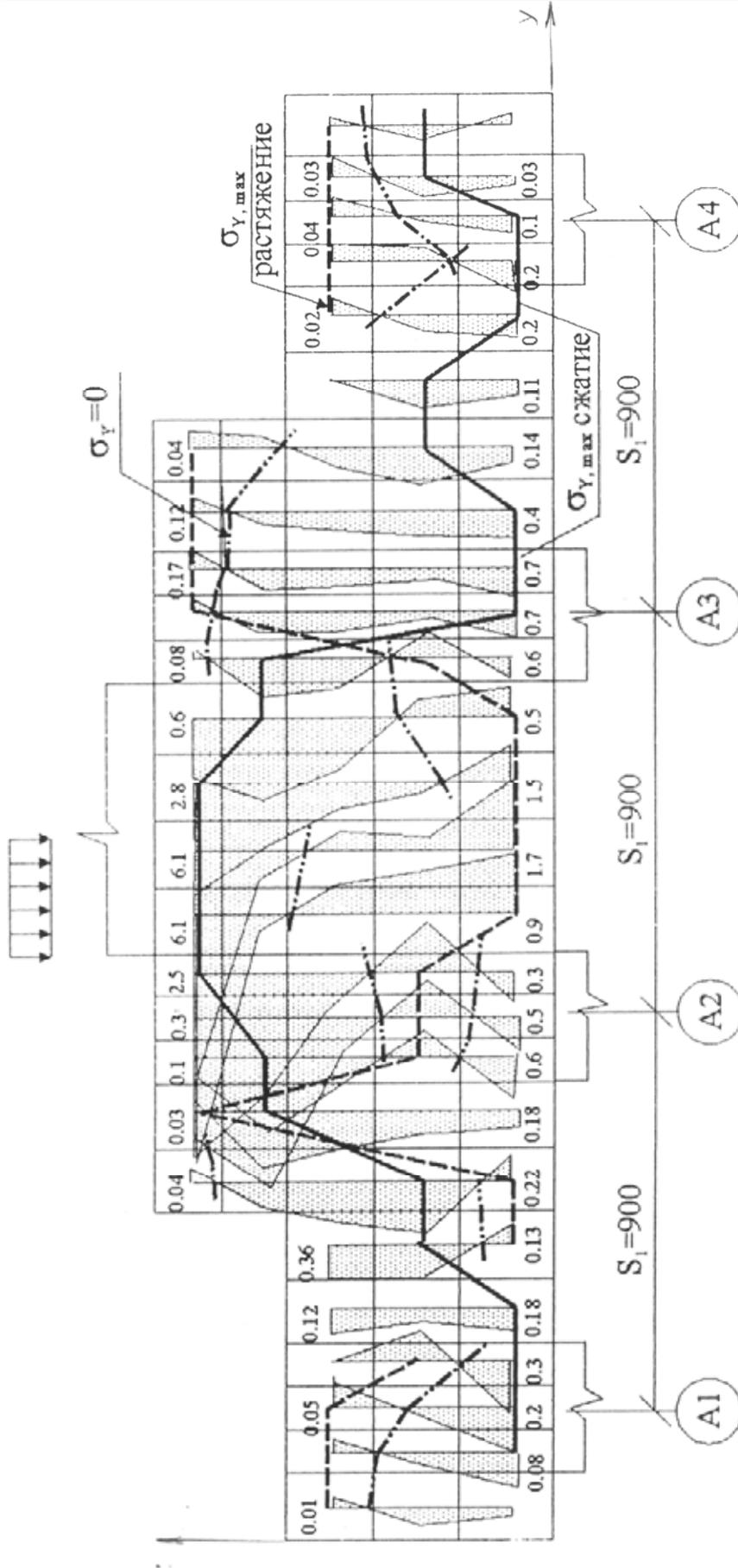


Рис.2. Распределение нормальных напряжений  $\sigma_y$ ,  $\text{т/м}^2$  (1-й вариант)

Распределение напряжений  $\sigma_y$  характеризует наличие нагруженных, слабонагруженных и ненагруженных зон. При этом в наиболее нагруженных зонах напряжения  $\sigma_y$  дважды или трижды меняют знак. Наиболее нагруженными зонами являются: участок под колонной, непосредственно под нагрузкой и участки над сваями-опорами, которые расположены по осям 2 и 3 и находятся вблизи действия нагрузки.

С изменением шага свай длина участка, в пределах которого  $\sigma_{y \max}$  располагается в нижней части, увеличивается. С увеличением расстояния между сваями растут и растягивающие напряжения  $\sigma_y$ . С удалением от нагрузки они появляются в верхнем слое ростверка, и их величины находятся в прямой зависимости от шага свай.

Характер распределения нулевых линий с увеличением шага свай не изменяется со стороны наиболее нагруженной части. Особенностью распределения линий с нулевыми напряжениями является то, что в пределах одного и того же вертикального сечения может быть несколько нулевых линий, а также имеет место резкий переход нулевых линий по высоте сечений. Более спокойное напряженное состояние возникает в третьем варианте – с наибольшим шагом свай, в направлении оси «У» в сечении, наиболее удаленном от колонны. При этом линия нулевых напряжений стремится занять среднее положение по высоте, однако сжимающие и растягивающие зоны резко изменяют свое положение в сечениях между сваями и над сваями (рис. 3). С увеличением шага свай растут сжимающие напряжения под колонной, но по мере удаления от места приложения нагрузки в ростверках с большим шагом свай сжимающие напряжения быстрее идут на убыль.

Расположение нормальных напряжений  $\sigma_x$  в сечении 10 (рис. 4) имеет тенденцию изменять свое положение по высоте ростверка, в пролете между сваями она опускается, выделяя незначительную растягивающую зону, и поднимается над сваями, близко расположенными к колонне. При этом нулевая линия раздваивается и располагается в двух уровнях по высоте сечения. Характер расположения нейтральной оси почти не изменяется с изменением шага свай. Что касается  $\sigma_{x \max}$ , следует отметить, что линии этих напряжений имеют тенденцию располагаться в нижней и верхней гранях ростверка, однако в сечениях над сваями, близко расположенными к колонне, появляются участки с максимальными  $\sigma_x$  в средней части ростверка.

На рис. 5 показаны эпюры распределения нормальных напряжений  $\sigma_z$  по оси «А» в продольном направлении. С удалением от верхнего слоя напряжения  $\sigma_z$  уменьшаются по абсолютной величине и рассредоточиваются по ширине рассматриваемого сечения. Наибольшие сжимающие напряжения  $\sigma_z$  наблюдаются в верхнем слое, непосредственно под нагрузкой. Они достигают максимального значения над 1/4 частью колонны ближе к краю – в первом варианте, и ближе к середине – во втором и третьем вариантах. С увеличением шага свай уменьшаются сжимающие напряжения  $\sigma_z$  как под колонной, так и под всеми сваями.

По характеру распределения нормальных напряжений  $\sigma_z$  можно судить о размерах рабочей зоны сваи-опоры. С удалением свай от нагрузки уменьшается их рабочая площадь. Если в первом варианте ширина рабочей площадки свай А1, А2, А3 равна полной ширине сваи, то во втором варианте крайняя свая А1 участвует в работе с шириной рабочей площади, равной  $2/3 b_{св}$ , свая А4 –  $1/3 b_{св}$ . В третьем варианте ширина рабочей площади сваи А1 уменьшается до  $1/3 b_{св}$ , а свая А4, наиболее удаленная от нагрузки, совсем исключается из работы, и над ней появляются растягивающие напряжения.

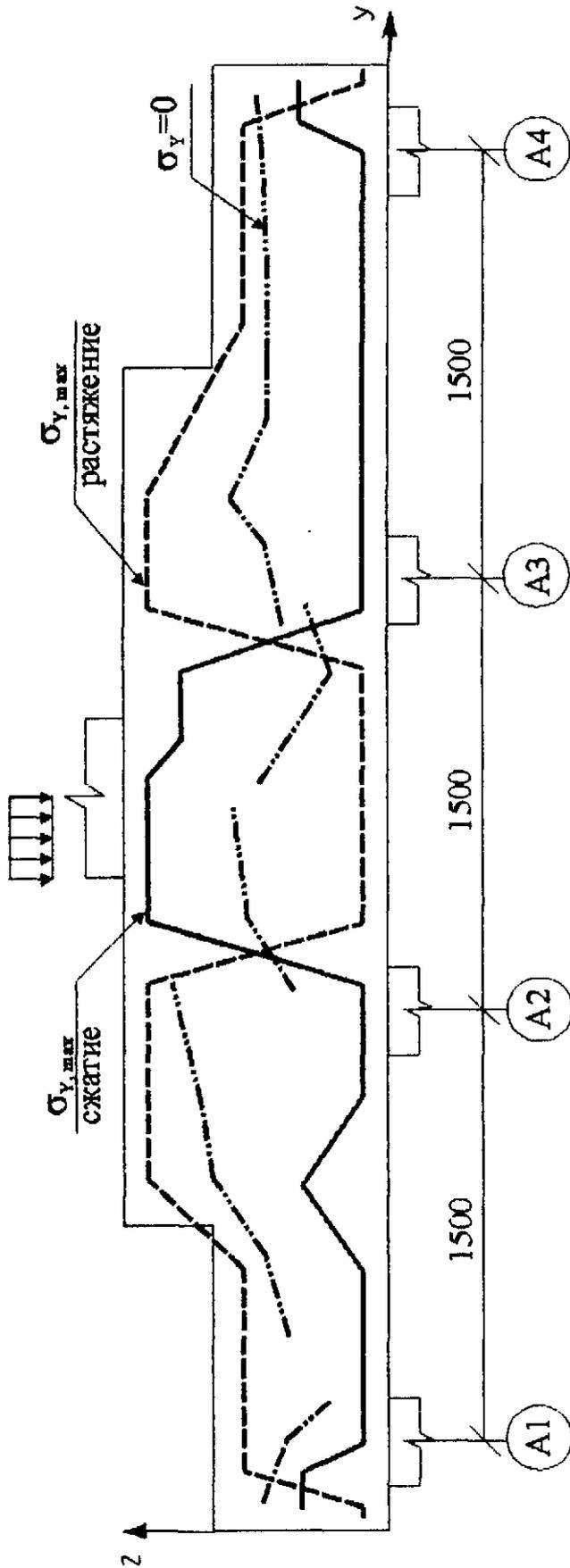
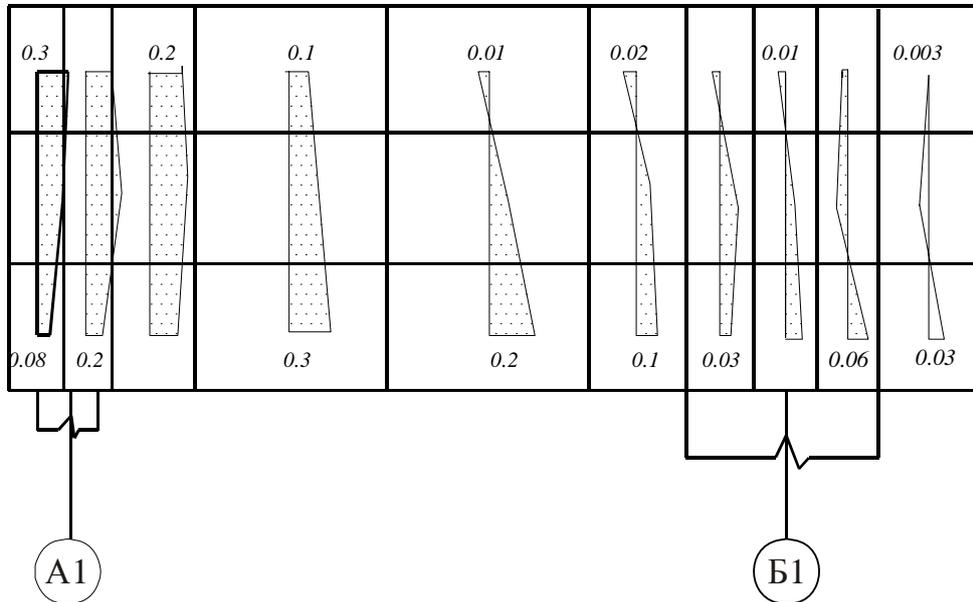


Рис. 3. Линии нулевых и максимальных напряжений  $\sigma_y$  (3-й вариант)

3 ряд



10 ряд

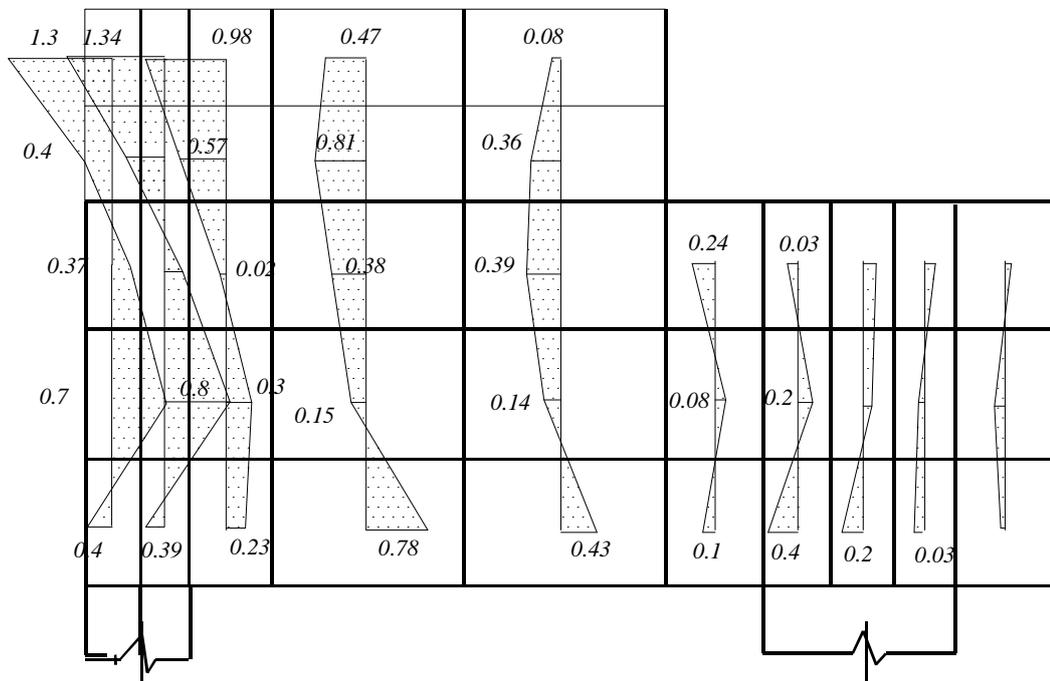


Рис. 4. Эпюры  $\sigma_x$ , т/м<sup>2</sup> (1-й вариант)

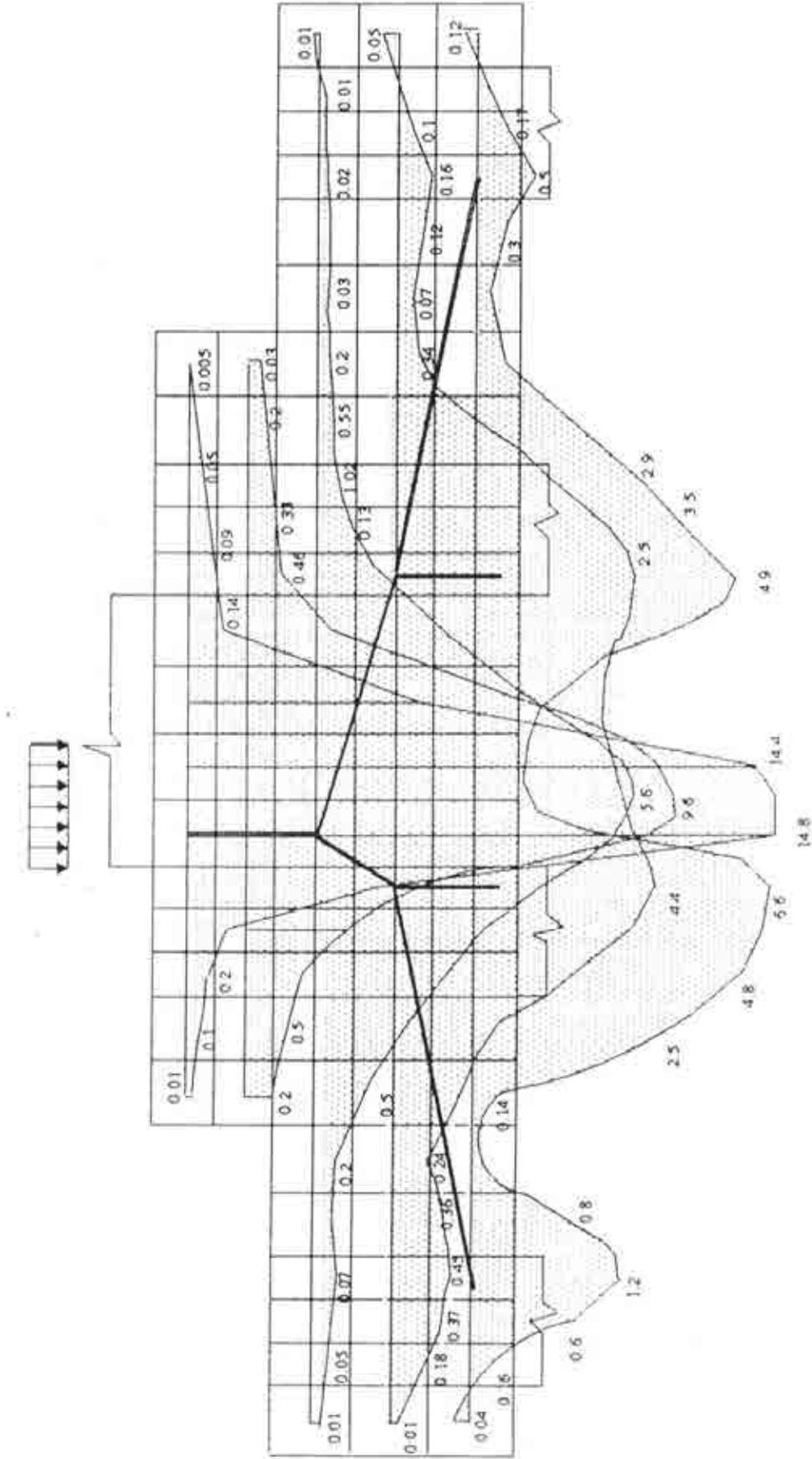


Рис. 5. Эпюры  $\sigma_z$ ,  $\text{т/м}^2$ , по оси А (1-й вариант)

Характер распределения касательных напряжений  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zx}$  отличается от классических эпюр распределения  $\tau$  в балках. Имеется в виду, что в отличие от параболического очертания в балках соответствующие эпюры касательных напряжений в ростверках не имеют закономерности распределения касательных напряжений по высоте, т.е. эпюра меняет знак и может иметь поочередно то минимальное, то максимальное значение.

По результатам расчёта построены траектории главных напряжений (рис. 6). Главные сжимающие напряжения концентрируются в пределах условных наклонных полос бетона, расположенных между подошвой колонны и оголовками свай. Главные растягивающие напряжения концентрируются в горизонтальной плоскости между сваями-опорами вблизи нижней грани ростверка. Характерно, что наибольшая концентрация главных сжимающих напряжений наблюдается между колонной и средними (наиболее близко расположенными к оси колонны) сваями.

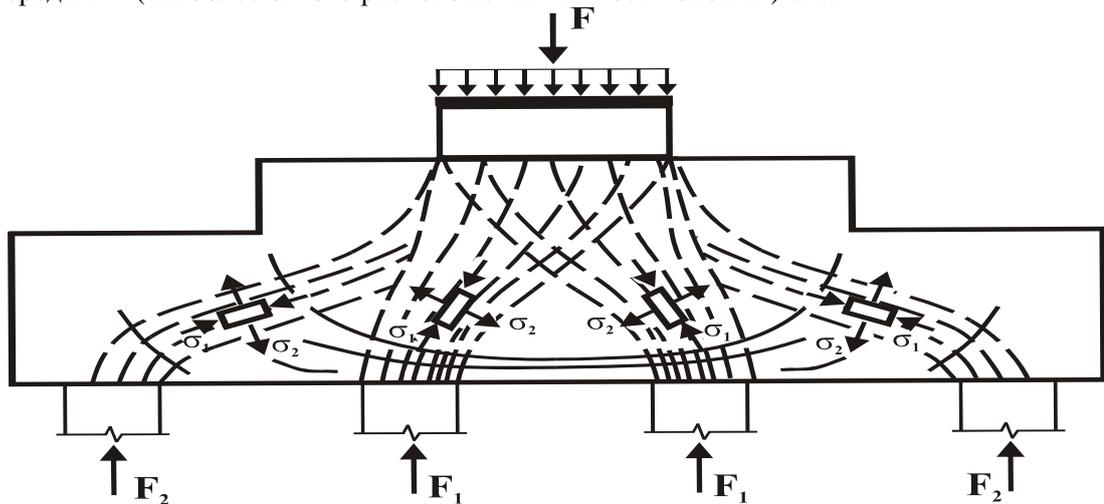


Рис. 6. Схема траектории главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$

Полученные результаты позволяют разработать методы расчёта и конструирования ростверков с помощью пространственных каркасно-стержневых моделей, которые учитывают волнообразное распределение усилий: от максимальных значений у центральных свай до небольших усилий у крайних свай.

#### Список литературы

1. Кочеткова, М.В. Совершенствование методов расчёта многорядных свайных ростверков под колонны / М.В. Кочеткова, О.В. Снежкина, А.В. Корнюхин. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 139 с.
2. Корнюхин, А.В. Экспериментально-теоретические исследования толстых плит / А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова, О.В. Снежкина. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 131 с.
3. Кочеткова, М.В. Экспериментальная оценка работы ростверков / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, О.В. Снежкина, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1 (18).

#### References

1. Kochetkova, M.V. Improving methods of calculation pile foundations under columns / M.V. Kochetkova, O.V. Snezhkina, A.V. Kornyuhin. – Penza: PGUAS, 2011. – 139 p.
2. Kornyuhin, A.V. Experimental and theoretical studies of thick plates / A.V. Kornyuhin, M.V. Kochetkova, O.V. Snezhkina. – Penza: PGUAS, 2013. – 131 p.
3. Kochetkova, M.V. Experimental evaluation of grillages / M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, O.V. Snezhkina, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – № 1 (18).

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

## ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.543.39

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Андреев Сергей Юрьевич**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение, водоотведение  
и гидротехника»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Гарькина Ирина Александровна**,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Математика и  
математическое моделирование»

**Ласьков Николай Николаевич**,  
доктор технических наук, заведующий  
кафедрой «Строительные конструкции»

**Князев Владимир Александрович**,  
аспирант кафедры «Водоснабжение,  
водоотведение и гидротехника»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Andreev Sergey Yuryevich**,  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Water supply, sewerage and  
hydraulic engineering»  
E-mail:andreev3007@rambler.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna**,  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Mathematics and mathematical  
modeling»

**Laskov Nikolay Nikolaevich**,  
Doctor of Sciences,  
head of department «Building structures»

**Knyazev Vladimir Aleksandrovich**,  
Postgraduate of the department «Water  
supply, sewerage and hydraulic engineering»

### ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДЕСТРУКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ФЕРРАТА НАТРИЯ

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, Н.Н. Ласьков, В.А. Князев

Определены пути совершенствования деструктивной очистки производственных сточных вод. Показано, что повысить эффективность деструктивной очистки можно за счет использования реагента окислителя на основе феррата натрия, обладающего повышенным окислительным потенциалом.

*Ключевые слова: деструктивная очистка; реагент-окислитель; кислородосодержащие соединения хлора; озонирование; феррат натрия*

### INTENSIFICATION OF DESTRUCTIVE WASTE WATER PURIFICATION USING AN OXIDANT ON THE BASIS OF FERRATE SODIUM

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, N.N. Laskov, V.A. Knyazev

The ways of improving destructive industrial wastewater are identified. The authors show that it is possible to increase the efficiency of destructive purification using an oxidant reagent on the basis of sodium ferrate possessing high oxidation potential.

*Keywords: destructive purification; oxidizing reagent; oxygenated compounds of chlorine; ozonation; sodium ferrate*

В настоящее время повышение уровня загрязнения поверхностных водоемов является одной из важнейших технических, эколого-биологических и социальных проблем мегаполисов и населенных пунктов. В связи с постоянно ужесточающимися требованиями к охране окружающей природной среды возникает задача значительного снижения сброса загрязняющих веществ в водные объекты.

Наибольшую опасность с точки зрения загрязнения окружающей природной среды представляют сточные воды промышленных предприятий, сбрасываемые в коммунальные системы водоотведения и попадающие на сооружения биологической очистки. Поскольку сооружения биологической очистки не обладают барьерной функцией, способной задерживать трудноокисляемые загрязнения, они транзитом поступают в открытые водоемы и оказывают негативное воздействие на водные экосистемы.

Предотвратить попадание биологически неокисляемых компонентов в поверхностные водоемы можно при использовании технологических процессов очистки производственных сточных методом реагентной химической деструкции.

Сущность реагентной химической деструкции заключается в процессе протекания окислительно-восстановительных реакций, в результате которых реагент-окислитель отнимает электрон от атомов или ионов окисляемого вещества.

Преимуществами методов химического окисления загрязняющих компонентов сточных вод являются:

- возможность очистки сточных вод до требуемых показателей практически от всех видов загрязнений, различающихся как по химическому, так и по фазово-дисперсному составу;
- высокая эффективность процесса очистки как в непрерывном, так и в периодическом режиме работы;
- быстрота и простота вывода системы на заданные технологические параметры;
- технологическая гибкость системы очистки сточных вод при изменении их состава.

В практике обезвреживания производственных сточных вод методом реагентной химической деструкции в качестве реагентов окислителей используются кислородосодержащие соединения хлора, озон, пероксид водорода, перманганат калия, бром и т.п.

Значения окислительных потенциалов некоторых реагентов окислителей приведены в таблице.

Значения окислительных потенциалов реагентов-окислителей

№ п/п	Номер реагента-окислителя	Величина окислительного потенциала в нейтральной среде, В	Величина окислительного потенциала в % от величины окислительного потенциала озона
1	2	3	4
1	Феррат натрия ( $\text{Na}_2\text{FeO}_4$ )	2,2	106
2	Озон ( $\text{O}_3$ )	2,07	100
3	Пероксид водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	1,78	86
4	Перманганат калия ( $\text{KMnO}_4$ )	1,70	82
5	Хлорноватистая кислота ( $\text{HClO}$ )	1,49	72
6	Бром ( $\text{Br}_2$ )	0,94	49
7	Йод ( $\text{I}_2$ )	0,54	25

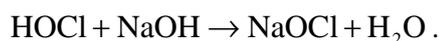
Одним из самых распространенных способов обезвреживания токсичных веществ производственных сточных вод является их обработка кислородосодержащими соединениями хлора (активного хлора), такими, как хлорноватистая кислота, гипохлорит натрия, хлорная известь [3].

Хлорноватистая кислота образуется в процессе гидролиза при растворении в воде газообразного хлора:



В сильноокислой среде равновесие реакции (1) сдвигается влево, и в воде присутствует молекулярный хлор. При значениях  $\text{pH} > 4$  молекулярный хлор в воде практически отсутствует. Образовавшаяся в результате гидролиза молекулярного хлора хлорноватистая кислота диссоциирует на ион гипохлорита  $\text{OCl}^-$  и ион водорода  $\text{H}^+$ . Соотношение между концентрациями недиссоциированной хлорноватистой кислоты и ионами гипохлорита зависит от уровня  $\text{pH}$  воды.

Гипохлорит натрия получают путем растворения газообразного хлора в щелочи ( $\text{NaOH}$ ). Образовавшаяся вследствие реакции гидролиза хлорноватистая кислота при взаимодействии со щелочью образует гипохлорит натрия:



Хлорную известь получают при пропускании газообразного хлора через слой негашеной извести. При растворении в воде хлорной извести образуется хлорноватистая кислота:



При добавлении в сточные воды соединений активного хлора в стехиометрическом количестве по отношению к содержащимся в них загрязнениям, вследствие недостаточно высокого окислительного потенциала системы, происходит разрушение преимущественно легкоокисляемой части органических примесей без их глубокого расщепления. С целью повышения степени очистки увеличивают дозу активного хлора. Однако при избытке активного хлора по отношению к значению ХПК сточных вод в реакторе более чем в 4-6 раз окислительно-восстановительный потенциал системы стабилизируется, и скорость окисления загрязнений замедляется. Это связано с накоплением в растворе химически стойких продуктов превращения органических примесей, которые трудно окисляются активным хлором даже при большом его избытке. При этом высокая окислительная способность остаточного активного хлора полностью не используется.

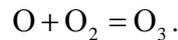
В очищенных сточных водах присутствуют значительные концентрации остаточного активного хлора, что затрудняет процесс их дальнейшей утилизации.

Более высоким окислительным потенциалом по сравнению с соединениями активного хлора обладает озон, что позволяет использовать его для разрушения трудноокисляемых загрязнений, которые встречаются в производственных сточных водах в виде многочисленных классов красителей, поверхностно-активных веществ, пестицидов и цианидов.

Впервые метод озонирования был применен для дезинфекции воды на станции водоподготовки во Франции в 1986 г. Принципиальная схема очистки производственных сточных вод методом озонирования, как правило, включает в себя три основных технологических узла: узел получения озона; узел смешения озонсодержащего газа со сточными водами, узел каталитического дожигания озона в отходящих отработанных газах. Озон генерируется непосредственно на очистных сооружениях путем тихого (коронного) электрического разряда в воздухе. Тихий разряд образуется в узком газовом пространстве между электродами, к которым подведен электропотенциал порядка 25 тыс. В.

В озонаторах используются электроды из стекла, внутренняя поверхность которых покрыта металлической амальгамой. Ее слой выполняет роль электрода высокого напряжения. Воздух движется вдоль оси кольцевого пространства между соосно расположенными электродами. Молекулы кислорода под действием электрических

разрядов дробятся, и образовавшиеся атомы присоединяются к кислороду, образуя молекулу озона.



Производительность озонатора и удельный расход электроэнергии на получение озона в значительной степени зависят от влагосодержания поступающего в озонатор воздуха, его температуры и концентрации кислорода. Удельный расход электроэнергии на получение 1 кг озона из неосушенного воздуха составляет 40-60 кВт·ч.

В обрабатываемые сточные воды озон вводится различными способами: барботированием содержащего озон воздуха через слой сточных вод; противоточной абсорбцией озона водой в адсорберах с различными насадками (кольца Рашига, хордовая насадка и т.п.); смешиванием воды с озоновоздушной смесью в эжекторах или специальных роторных механических смесителях.

При давлении 0,1 МПа и температуре 0 °С растворимость озона в воде составляет 0,4 г/л, при температуре 20 °С – 0,24 г/л. Растворимость озона в воде зависит от активной реакции среды. В кислой среде растворимость озона увеличивается, в щелочной – уменьшается.

Озон представляет собой газ бледно-фиолетового (голубоватого) цвета с плотностью относительно воздуха 1,66. Озон взрывоопасен и является отравляющим веществом раздражающего действия. Предельно допустимая концентрация озона в воздухе составляет 0,1 мг/м<sup>3</sup>. При концентрации озона в воздухе 1 мг/м<sup>3</sup> допускается только кратковременное пребывание человека в помещении. Доза озона 120 мг/м<sup>3</sup> вызывает удушье.

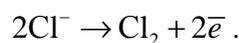
К недостаткам процесса озонирования относятся его значительная стоимость и высокая токсичность озона.

В связи с высокой токсичностью озона необходимо устанавливать дополнительное оборудование для каталитического дожигания озона в отработанной смеси. Цена этого оборудования составляет существенный процент от стоимости озонаторной установки. В случае выхода из строя оборудования для каталитического обезвреживания отработанной смеси вокруг озонаторной станции образуется многокилометровая зона выжженной земли. На себестоимость озонирования также негативно влияет и существенное удельное энергопотребление этого процесса (удельные энергозатраты этого процесса достигают 50 кВт·ч/кг).

В качестве альтернативы озону сотрудниками кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидротехника» было предложено использовать комплексный реагент-окислитель на основе феррата натрия. Феррат натрия (Na<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub>) представляет собой водный раствор соли железной кислоты (H<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub>), имеющей фиолетовый цвет. В феррате атом железа имеет валентность VI и обладает повышенным окислительным потенциалом (+2,2 В). Повышенные окислительные дезинфицирующие свойства ферратов констатированы значительным числом исследователей [1, 2]. Феррат натрия является экологически чистым реагентом. Он не попадает в воздух, полностью разлагается в воде. Конечным продуктом распада феррата натрия является гидроокись трехвалентного железа («ржавчина»), обладающая коагулирующими свойствами, что положительно влияет на эффективность процесса очистки.

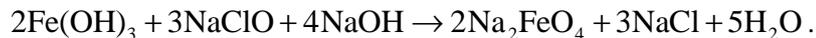
С целью повышения выхода полезного продукта и снижения его себестоимости была разработана новая технология синтеза феррата натрия в мембранном электролизере с нерастворимыми электродами (ОКТА, ОРТА, ПТА). В катодную и анодную камеры электролизера заливается электролит, представляющий собой смесь поваренной соли и щелочи.

В процессе электролиза на аноде происходит разряд содержащихся в электролите ионов хлора:



Молекулы хлора растворяются в воде, и в результате реакции гидролиза (1) образуется хлорноватистая кислота, которая взаимодействует с содержащейся в электролите щелочью, в результате чего образуется гипохлорит натрия.

Процесс синтеза феррата натрия протекает в соответствии с реакцией



Отделение анодного пространства от катодного полупроницаемой мембраной позволяет предотвратить электрохимическое восстановление полученного окислителя и тем самым существенно повысить эффективность электросинтеза феррата натрия.

Введение в электролизер ионов железа в виде раствора соли (сульфата железа) и использование нерастворимых электродов также приводит к повышению эффективности процесса синтеза феррата натрия.

Невысокая стоимость комплексного реагента-окислителя на основе феррата натрия, произведенного по предлагаемой технологии (менее 200 руб./кг), способствует его широкому внедрению в технологические процессы деструктивной очистки производственных сточных вод.

#### Список литературы

1. Краснобородько, И.Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей / И.Г. Краснобородько. – Л.: Химия, 1988. – 194 с.
2. Шевченко, А.И. Окислители в технологии водообработки / А.И. Шевченко, П.В. Марченко. – Киев: Наукова думка, 1978. – 177 с.
3. Андреев, С.Ю. Исследование процессов окисления аммонийных соединений в сточных водах с использованием хлора и кислорода / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 324 с.

#### References

1. Krasnoborodko, I.G. Destructive purification of wastewater from dyes / I.G. Krasnoborodko. – L.: Chemistry, 1988. – 194 p.
2. Shevchenko, A.I. Oxidants in water treatment technology / A.I. Shevchenko, P.V. Marchenko. – Kiev: Naukova Dumka, 1978. – 177 p.
3. Andreev, S.Y. Investigation of oxidation ammoniynyh compounds in wastewater using chlorine and oxygen. / S.Y. Andreev, B.M. Grishin. – Penza: PGUAS, 2011. – 324 p.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Андреев Сергей Юрьевич,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение, водоотведение  
и гидротехника»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Гарькина Ирина Александровна,**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Математика  
и математическое моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Петрунин Алексей Алексеевич,**  
аспирант кафедры «Водоснабжение,  
водоотведение и гидротехника»  
E-mail: pmi@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*  
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Andreev Sergey Yuryevich,**  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Water supply, sewerage  
and hydraulic engineering»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna,**  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Mathematics and mathematical  
modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Petrinin Alexsey Alexseevich,**  
Postgraduate student of the department  
«Water supply, sewerage and hydraulic  
engineering»  
E-mail: pmi@pguas.ru

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, А.А. Петрунин

Определены пути совершенствования флотационной очистки производственных сточных вод. Показана возможность повышения эффективности очистки на основе использования роторно-кавитационного устройства, позволяющего получить тонкодисперсную водовоздушную смесь с высоким газосодержанием.

*Ключевые слова: флотационная очистка, водовоздушная смесь, флотокомплекс, коэффициент газонаполнения, роторно-кавитационное устройство*

## IMPROVMENT OF WASTE WATER FLOTATION PURIFICATION

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, A.A. Petrunin

The ways of improving the flotation purification of industrial wastewater are identified. The possibility to increase the efficiency of purification on the basis of rotornokavitation device that allows to obtain a finely dispersed water-air mixture with a high gas content is shown.

*Keywords: flotation cleaning, water-air mixture flotokompleks, gas filling factor, rotornokavitatsionnoe device*

Среди множества технологий по обезвреживанию загрязняющих веществ производственных сточных вод выделяются две группы методов: деструктивные методы очистки, предусматривающие разрушение загрязняющих веществ, и методы сепарации загрязнений, при которых они выделяются из сточных вод.

Возможность извлечения из сточных вод промышленных предприятий ценных компонентов определяется исходя из результатов технологических испытаний и технико-экономических расчетов, соизмеряющих получаемый экологический результат с необходимыми затратами.

Из сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтедобывающих заводов, как правило, извлекаются и утилизируются нефть и нефтепродукты, из сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов – целлюлозное волокно.

Из сточных вод фабрик первичной обработки шерсти извлекают шерстяной жир, который идет на изготовление ланолина – ценного продукта, применяемого в медицинской, парфюмерной и других отраслях промышленности. Извлекаются и утилизируются цветные металлы из сточных вод гальванопроизводств.

В настоящее время широкое распространение получили методы флотационной сепарации загрязнений производственных сточных вод.

Как технологический процесс флотация зародилась более 100 лет назад в обогащательной промышленности, где применялись масляная, пленочная и воздушная (пенная) флотации. Наиболее эффективной и экономичной оказалась воздушная флотация, представляющая собой разновидность метода адсорбционно-пузырьковой сепарации загрязнений сточных вод.

Воздушная флотация – процесс молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела двух фаз (воздух – вода), обусловленный избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также поверхностными явлениями смачивания.

Метод флотации заключается в образовании флотокомплексов «частица – пузырек воздуха», всплывании этих комплексов на поверхность жидкости и удалении с поверхности жидкости образовавшегося пенного слоя.

В основе процессов адсорбционно-пузырькового разделения (частным случаем которого является процесс флотации) лежат явления физико-химического взаимодействия газовых дисперсий с извлекаемыми веществами. В отличие от других гравитационных разделительных процессов эффективность методов адсорбционно-пузырькового разделения мало зависит от седиментационных свойств загрязняющих веществ (она определяется седиментационными свойствами образующихся флотокомплексов), что значительно расширяет область их применения.

Технологические процессы адсорбционно-пузырькового разделения включают в себя собственно методы флотации и методы пенного фракционирования.

Метод флотации основан на формировании всплывающих флотокомплексов, состоящих из пузырьков воздуха и извлекаемых дисперсных частиц.

В процессе пенного фракционирования на поверхности пузырьков воздуха адсорбируются молекулы загрязняющих веществ.

Принято выделять три основных типа элементарных флотокомплексов, в форме которых происходит извлечение загрязняющих веществ в процессе адсорбционно-пузырькового разделения [1].

Первый тип образуется в результате столкновения и последующего слипания всплывающих относительно крупных пузырьков воздуха с дисперсными частицами загрязняющих веществ (твердых или жидких). Условно этот тип флотокомплексов называется газово-дисперсным. Крупные размеры пузырьков воздуха обуславливают невысокую механическую прочность образующегося флотокомплекса вследствие относительно высоких скоростей его всплывания, создающих значительные напряжения сдвига на поверхности раздела фаз, и малой энергии связи частицы с поверхностью пузырька, зависящей от ее кривизны. Первый тип флотокомплексов образуется во флотаторах, работающих по принципу диспергирования (размельчения) подаваемого во флотационный объем воздуха, и характерен для флотационных установок с барботажной пневматической и гидродинамической системами получения диспергированной газовой фазы.

Второй тип флотокомплекса формируется в установках, работа которых основана на эффекте выделения воздуха из пересыщенного раствора жидкости. По этому принципу работают установки вакуумной флотации, эрлифтные флотаторы и установки напорной флотации. Наибольшее распространение получили напорные флотационные установки с дросселированием предварительно насыщенной в сатураторе жидкости. В этом случае дисперсные частицы загрязняющих веществ становятся центрами зарождения множества микропузырьков воздуха, в результате чего формируется флотокомплекс, который условно определяется как дисперсно-газовый. Вследствие высокой

поверхностной энергии этот тип флотокомплексов может образовывать устойчивые крупные флотоагрегаты, состоящие из нескольких элементарных комплексов.

В технологических процессах пенного фракционирования на поверхности раздела фаз (вода – воздух) вследствие контакта всплывающих пузырьков с загрязняющими веществами происходит образование адсорбционного слоя удаляемых из жидкости веществ и образуется третий тип флотокомплексов – газовой-молекулярный. Возможность образования этого типа флотокомплексов мало зависит от размеров пузырьков воздуха и обуславливается главным образом физико-химическими свойствами загрязняющих веществ. Газовой-молекулярный тип флотокомплексов характерен для обработки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ) и высокомолекулярные соединения (ВМС). Он обладает достаточным структурным постоянством при изменении динамической обстановки в камере флотации.

В отличие от методов пенного фракционирования вероятность образования флотокомплекса в процессе флотационной очистки сточных вод в большой степени зависит от соотношения радиусов извлекаемой дисперсной частицы  $r_{\text{ч}}$  и пузырька воздуха  $r_{\text{п}}$  и определяется величиной «коэффициента захвата»  $E$ , характеризующего эффективность процесса столкновения пузырька воздуха и дисперсной частицы. Для стоксового режима всплывания пузырька воздуха в соответствии с рекомендациями [2, 3] величина  $E$  определяется как:

$$E = \frac{3 r_{\text{ч}}^2}{2 r_{\text{п}}^2}. \quad (1)$$

Справедливость уравнения (1) подтверждается многочисленными эмпирическими данными, свидетельствующими о том, что эффективная флотационная очистка сточных вод промышленных предприятий возможна при среднем размере пузырьков дисперсной газовой фазы  $d_{\text{п}}=20-60$  мкм.

Во флотационных аппаратах, оснащенных гидродинамической системой получения дисперсной газовой фазы (водовоздушной смеси) и основанных на принципе механического диспергирования пузырьков воздуха (импеллерные флотаторы), образуются пузырьки воздуха диаметром 0,5-5 мм. Они используются при очистке сточных вод методом пенного фракционирования и в технологических процессах обогащения горно-рудной промышленности.

В настоящее время широкое распространение для очистки производственных сточных вод получили напорные флотаторы, позволяющие генерировать мелкодисперсную водовоздушную смесь ( $d_{\text{п}}=20-90$  мкм) из пересыщенного раствора, приготовляемого при избыточном давлении в сатураторе.

Растворимость газа в воде зависит от его физических свойств, давления, температуры и для сравнительно небольших давлений (до 2-3 МПа) выражается законом Генри, в соответствии с которым растворенное в воде количество газа пропорционально его парциальному давлению над раствором.

$$C = k \cdot P, \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация газа в растворе, кг/м<sup>3</sup>;  $P$  – давление над раствором Па;  $k$  – коэффициент пропорциональности (коэффициент Генри), кг/(м<sup>3</sup>·Па).

Для практических расчетов значение коэффициента Генри принимается в виде значения растворимости воздуха в воде при атмосферном давлении (см. таблицу) [1].

Растворимость воздуха в воде при атмосферном давлении

Температура, °С	Растворимость воздуха в воде, мг/л	Температура, °С	Растворимость воздуха в воде, мг/л
10	29,2	40	17,0
20	23,6	50	14,7
30	19,9	60	12,7

При понижении давления раствор воздуха в воде становится пересыщенным и избыточное количество газа выделяется из раствора в виде мелкодисперсных пузырьков.

Эффективность флотационного процесса определяется, наряду с величиной коэффициента захвата, значением величины удельной поверхности дисперсной газовой фазы  $S_y$ ,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .

Величина удельной поверхности дисперсной газовой фазы  $S_y$  является одной из важнейших характеристик газовой дисперсии, позволяющей судить об избыточной энергии системы.

Для дисперсной системы газовых пузырьков, имеющих строго сферическую форму диаметром  $d_n \leq 0,8$  мм, величина  $S_y$  может быть определена по формуле

$$S_y = 6 \frac{\Phi}{d_n}, \quad (3)$$

где  $\Phi$  – коэффициент газонаполнения флотационного объема,

$$\Phi = \frac{W_r}{W_\phi} = \frac{W_r}{W_{\text{ж}} + W_r}; \quad (4)$$

здесь  $W_\phi$  – объем флотационного бассейна;  $W_r$  и  $W_{\text{ж}}$  – объем соответственно газовой и жидкой фазы во флотационном бассейне.

При повышении давления в сатураторе степень пересыщения раствора воздуха в воде возрастает, что приводит к увеличению коэффициента газонаполнения  $\Phi$  флотационного объема.

Процесс выделения новой фазы из пересыщенного раствора состоит из двух стадий:

- 1) возникновение зародышей пузырьков;
- 2) стадия роста образовавшихся зародышей.

Первая из этих стадий протекает с увеличением энергии Гиббса и поэтому термодинамически затруднена. Вторая стадия идет самопроизвольно со значительным убыванием энергии Гиббса.

Критический радиус возникающих из пересыщенного раствора зародышей пузырьков воздуха  $r_{\text{кр}}$  принято определять по формуле Лапласа:

$$r_{\text{кр}} = \frac{2\sigma_{\text{ж-г}}}{P_1 - P_2}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{\text{ж-г}}$  – коэффициент поверхностного натяжения границы раздела фаз «газ – жидкость» (Н/м);  $P_1$  и  $P_2$  – давление соответственно в сатураторе и флотационном объеме (Па).

Количество зародышевых пузырьков ограничено вследствие наличия энергетического барьера.

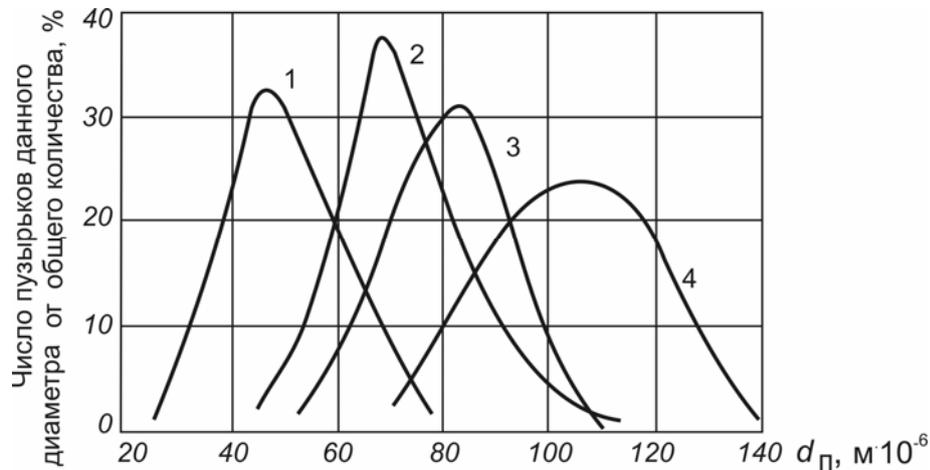
При повышении степени пересыщения газового раствора наблюдается не увеличение числа зародышевых пузырьков, а рост диаметра сформировавшихся на второй стадии пузырьков воздуха.

На рисунке приведены результаты измерения распределения пузырьков воздуха по размерам при дросселировании пересыщенного раствора при различных значениях пересыщения [2].

Из рисунка видно, что распределение пузырьков воздуха по их размерам при всех значениях близко к нормальному. Среднестатистические размеры пузырьков с возрастанием пересыщения жидкости увеличиваются.

Таким образом, при росте степени пересыщения газового раствора, с одной стороны, эффективность процесса флотации будет увеличиваться за счет повышения коэффициента газонаполнения флотационного объема  $\Phi$  и величины удельной поверхности дисперсной газовой фазы  $S_y$ , а с другой стороны, она будет уменьшаться за счет

роста размеров образующихся пузырьков  $r_{п}$ , обуславливающего снижение эффективности процесса захвата – коэффициента захвата  $E$ .



Распределение по размерам пузырьков  
в воде в зависимости от величины пересыщения:  
1 – 200 %; 2 – 400 %; 3 – 500 %; 4 – 800 %

Противоположность влияния этих двух факторов приводит к тому, что эффективность процесса напорной флотации будет иметь максимум при некотором определенном значении пересыщения жидкости.

Сотрудниками кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидротехника» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства была разработана новая технология приготовления тонкодисперсной водовоздушной смеси, сочетающая в себе преимущества метода диспергирования подаваемого во флотационный объем воздуха (увеличенное значение коэффициента газонаполнения  $\phi$ ) и метода напорной флотации (оптимальный размер пузырьков воздуха  $r_{п}$ , обеспечивающий повышенную эффективность процесса захвата дисперсных частиц).

В соответствии с предложенной технологией водовоздушная смесь, образующаяся на выходе из эжектора, под остаточным давлением подается на вход роторно-кавитационного устройства (РКУ), которое включает в себя камеру входа, вихревую камеру, выходную камеру и кавитирующий ротор, устанавливаемый по оси устройства.

Водовоздушная смесь поступает в вихревую камеру через тангенциально присоединенный к ней патрубок, и за счет этого в ней создается вращательное движение. Угловая скорость закрутки потока  $\omega$  при переходе его в вихревую камеру увеличивается прямо пропорционально квадрату отношения диаметров входной и вихревой камер. По оси вихревой камеры создается область с пониженным давлением, в которой размещается кавитирующий ротор. Полученная в результате обработки в вихревой камере тонкодисперсная водовоздушная смесь выпускается из выходной камеры через выпускной патрубок.

В процессе поступательно-вращательного движения водовоздушной смеси в вихревой камере на пузырьки воздуха действует центробежная сила, и они перемещаются к ротору, в результате чего на его поверхности образуются искусственные каверны. Способ создания искусственных каверн за счет подачи в область разрежения около тела обтекания воздуха или иного газа независимо друг от друга был впервые предложен в 1944 и 1945 гг. Рейхардтом и Эпштейном [4].

Искусственные и естественные каверны идентичны при одинаковых числах кавитации, определяемых по формуле

$$\sigma = \frac{P_0 - P_k}{\frac{\rho V_0^2}{2}}, \quad (6)$$

где  $P_0$  и  $P_k$  – давление соответственно в потоке и внутри каверны, Па;  $V_0$  – скорость потока, м/с;  $\rho$  – плотность потока, кг/м<sup>3</sup>.

Эффект кавитации возникает при равенстве давления  $P_k$  и давления насыщенного пара  $P_v$ . За счет создания искусственных каверн эффект кавитации можно получить при скоростях потока в несколько метров в секунду, тогда как в естественных условиях режим кавитации наблюдается при скоростях потока порядка нескольких десятков метров в секунду.

Тонкое диспергирование водовоздушной смеси в процессе ее обработки в роторно-кавитационном устройстве происходит под действием кумулятивных микроструек, возникающих при схлопывании пузырьков, отрывающихся от суперкаверн, образующихся на роторе.

Проведенные технологические испытания показали, что технология диспергирования в роторно-кавитационном устройстве позволяет получить тонкодисперсную водовоздушную смесь с диаметром пузырьков воздуха  $d_n=50-80$  мкм и высоким коэффициентом газонаполнения  $\phi=0,1$ .

#### Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Теоретические основы процессов генерации динамических двухфазовых систем водовоздушных систем вода-воздух и их использование в технологиях очистки воды / С.Ю. Андреев. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 194 с.
2. Стахов, Е.А. Очистка нефтесодержащих вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов / Е.А. Стахов. – Л.: Недра, 1983. – 264 с.
3. Покровский, В.Н. Очистка сточных вод тепловых электростанций / В.Н. Покровский, Е.П.Аракчеев. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.
4. Пирсол, И. Кавитация / И. Пирсол. – М.: Мир, 1975. – 94 с.

#### References

1. Andreev, S.Y. Theoretical bases of generation processes of dynamic two-phase system of water-air air-water systems and their use in water purification technology / S.Y. Andreev. – Penza: PGUAS, 2005. – 194 p.
2. Stakhov, E.A. Cleaning of oil containing water storage and transport enterprises of petroleum products / E.A.Stahov. – L.: Nedra, 1983. – 264 p.
3. Pokrovskii, V.N. Wastewater thermal power plants / V.N. Pokrovsky, E.P.Arakcheev. – M.: Energy, 1980. – 256 p.
4. Peirsol, I. Cavitation / I. Pirsol. – M.: Mir, 1975. – 94 p.

Пензенский государственный  
технологический университет  
Россия, 440039, г. Пенза,  
пр. Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11

**Бормотов Алексей Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Автоматизация и управление»  
E-mail: aleks21618@yandex.ru

**Коновалова Ирина Игоревна**,  
старший преподаватель кафедры  
«Автоматизация и управление»  
E-mail: kii-2311@mail.ru

**Кузнецов Дмитрий Васильевич**,  
магистр по направлению «Автоматизация  
технологических процессов и производств»

**Селезнева Светлана Вячеславовна**,  
старший преподаватель кафедры  
«Автоматизация и управление»  
E-mail: tesweta@yandex.ru

Penza State Technological University

Russia, 440039, Penza city, 1a/11,  
Baidukova/Gagarina St.

**Bormotov Alexei Nikolaevich**,  
Doctor of Science, Professor of the  
department «Automatic and Control»  
E-mail: aleks21618@yandex.ru

**Konovalova Irina Igorevna**,  
senior teacher of departments of the  
«Automation and Control»  
E-mail: kii-2311@mail.ru

**Kuznecov Dmitriy Vasilyevich**,  
Master in direction the «Automation of  
Technological Processes and Productions»

**Selezneva Svetlana Vyacheslavovna**,  
senior teacher of departments of «Automation  
and Control»  
E-mail: tesweta@yandex.ru

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

А.Н. Бормотов, И.И. Коновалова, Д.В. Кузнецов, С.В. Селезнева

Рассматривается алгоритм оценки параметров технического состояния функциональных подсистем теплоэнергетических автоматизированных систем управления технологическими процессами, основанный на оценке параметров цифровых параметрических стохастических моделей авторегрессии и скользящего среднего, связывающих вход и выход системы.

*Ключевые слова:* математическая модель; автоматизированная система управления технологическим процессом; подсистема газорегуляторного пункта; параметрические модели; рекуррентные алгоритмы.

## ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION PARAMETERS OF ELECTRIC HEATING AUTOMATIC CONTROL SYSTEM USING THE METHODS OF PARAMETRIC IDENTIFICATION

A.N. Bormotov, I.I. Konovalova, D.V. Kuznecov, S.V. Selezneva

The algorithm of assessment the parameters of technical conditions of functional subsystems of heat power automatic process control systems, based on the assessment of parameters of digital parametrical stochastic models of auto regression and a sliding average, connecting the system entrance and exit is considered.

*Keywords:* mathematical model; automatic process control system; subsystem gas control points; parametric models; recursive algorithms.

При анализе стохастических систем, встречающихся в самых различных областях науки и техники, исходными данными для анализа являются реализации случайного процесса, генерируемого этой системой [1]. Полученные в виде графиков, или

осциллограмм, реализации случайного процесса обрабатываются и представляются в виде временного ряда. Временной ряд содержит ординаты реализации случайного процесса, снятые в дискретные и равноотстоящие моменты времени. Следовательно, о свойствах исходной непрерывной системы судят по результатам цифровой обработки сигналов (временных рядов), формируемых системой. В связи с этим широкое распространение получили цифровые параметрические стохастические модели авторегрессии и скользящего среднего (АРСС-модели) [7]. Эти модели достаточно просты и включают обычно небольшое число параметров, которые необходимо оценивать по наблюдениям. АРСС-модели могут быть использованы как для изучения временных рядов, так и при определении статистических характеристик этих рядов.

Оценку параметров АРСС-моделей, а следовательно, и оценку технического состояния функциональных подсистем производят с использованием методов параметрической идентификации [10]. При этом предполагается, что структура и порядок модели объекта уже известны. Измеряемые значения входа  $u(t)$  и выхода  $y(t)$  представляются в виде временного ряда; поэтому в результате идентификации оцениваются параметры АРСС-модели объекта, или параметры его дискретной передаточной функции. Зная коэффициенты АРСС-модели и ее структуру, можно перейти к непрерывным структурированным моделям и моделям в пространстве состояний. Свойства получаемых оценок (состоятельность, несмещенность и эффективность) зависят от характеристик внешних возмущений и метода идентификации, при этом существенную роль играет вид закона распределения внешних возмущений.

Важным преимуществом методов параметрической идентификации является возможность использования рекуррентных алгоритмов, позволяющих проводить текущую идентификацию в реальном времени при номинальных режимах работы объекта. Эти преимущества определили широкое использование методов параметрической идентификации в задачах управления и автоматизации. К таким методам относятся: метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия и метод стохастической аппроксимации.

Все рассмотренные выше алгоритмы рекуррентной параметрической идентификации могут быть приведены к единой форме описания [2, 3, 4, 8, 10]:

$$\begin{aligned}\hat{\theta}(k+1) &= \hat{\theta}(k) + \gamma(k)e(k+1), \\ \gamma(k) &= \mu(k+1)P(k)\varphi(k+1), \\ e(k+1) &= y(k+1) - \Psi^T(k+1)\hat{\theta}(k).\end{aligned}$$

Для различных методов общие описания различаются векторами параметров  $\hat{\theta}(k)$ , векторами данных  $\Psi(k+1)$  и векторами коррекции  $\gamma(k)$ .

Оценку временного запаздывания можно провести корреляционным методом.

Предлагается следующий алгоритм оценки параметров технического состояния функциональных подсистем теплоэнергетических автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), основанный на оценке параметров АРСС-моделей, связывающих вход и выход системы:

1. На основе априорных сведений об исследуемой подсистеме определяется временной интервал регистрации  $h$  и объем выборки  $N$  временных рядов на ее входе и выходе.

2. Производится регистрация входного и выходного сигналов подсистемы с заданным шагом  $h$  и объемом  $N$ .

3. Осуществляется оценка временного запаздывания в подсистеме с использованием корреляционного метода.

4. Оцениваются стационарность и эргодичность входных и выходных сигналов по рекуррентным оценкам коэффициентов АРСС-моделей.

5. Оцениваются временное запаздывание  $m$ , приведенное к интервалу дискретизации  $h$ , порядок  $n$  и параметры  $\theta$  АРСС-моделей для центрированных сигналов входа и выхода.

6. Вычисляется ошибка идентификации для различных типов моделей, и определяются ее параметры.

7. Выбирается модель с минимальной ошибкой.

Проверка предложенного алгоритма оценки технического состояния функциональных подсистем теплоэнергетических АСУТП проводилась на реальном теплоэнергетическом объекте (подсистема газорегуляторного пункта – ГРП).

Газорегуляторный пункт является составной частью газового хозяйства Пензенской ТЭЦ-1 и предназначен для редуцирования давления газа, стабилизации выходного давления в заданных пределах, автоматического отключения газа при повышении или понижении выходного давления на выходе газорегуляторного пункта и очистки газа от механических примесей.

На рис. 1 показаны графики изменения входного и выходного сигналов ГРП при  $k = 9,1463$ , на рис. 2 – взаимная корреляционная функция, на рис. 3 – коэффициенты АРСС-модели, на рис. 4 – результаты моделирования, на рис. 5 – переходные характеристики моделей. В таблице представлены среднеквадратичные значения ошибок моделирования для различных моделей.

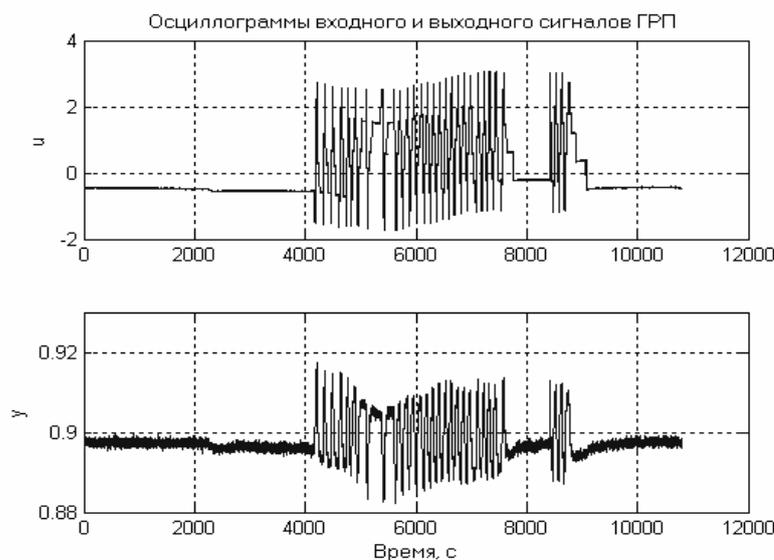


Рис. 1. Входной и выходной сигналы ГРП

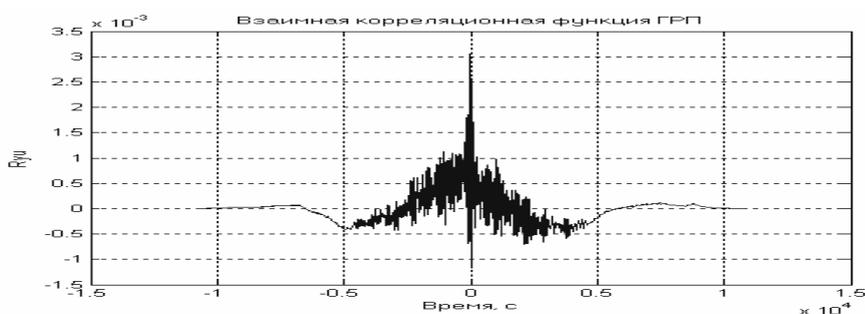


Рис. 2. Взаимная корреляционная функция ГРП

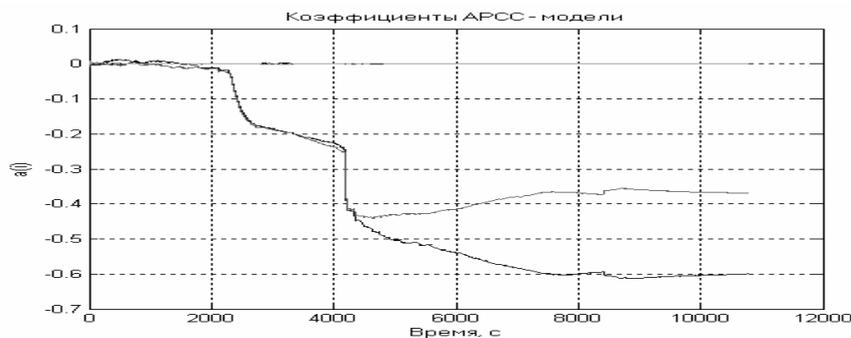


Рис. 3. Коэффициенты АРСС-модели

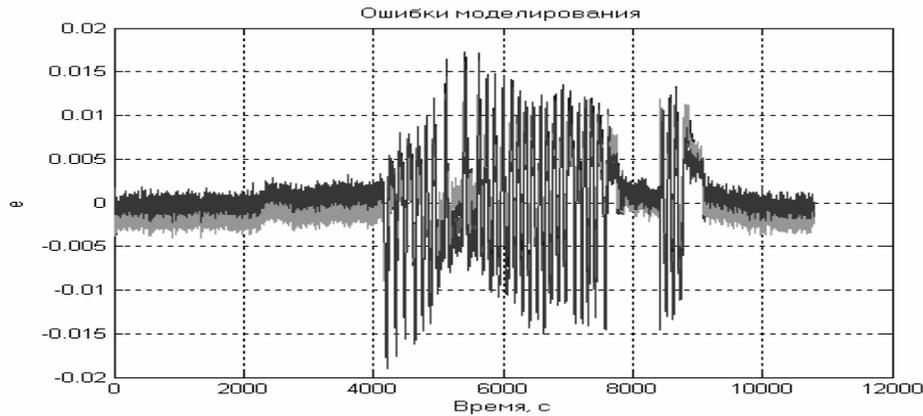


Рис. 4. Ошибки моделирования

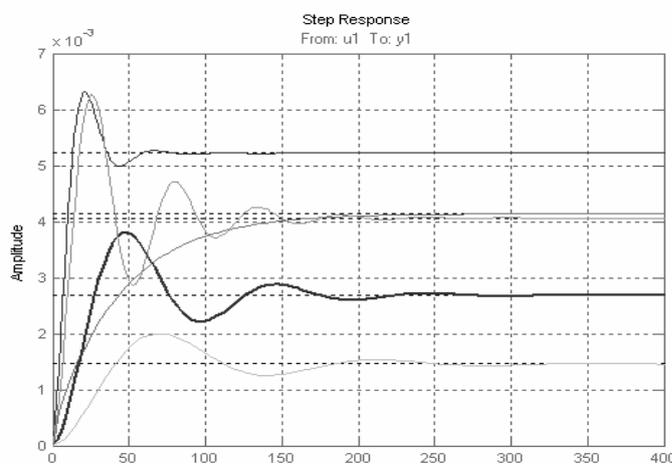


Рис. 5. Переходные характеристики моделей

Среднеквадратичные значения ошибок моделирования для различных моделей

№ модели	1	2	3	4	5
СКО	0,005	0,0032	0,0041	0,0046	0,0032

Оценивались стационарность и эргодичность входных и выходных сигналов по рекуррентным оценкам коэффициентов АРСС-моделей (см. рис. 3), а также временное запаздывание  $m$ , приведенное к интервалу дискретизации  $h$ , порядок  $n$  и параметры  $\theta$  АРСС-моделей для центрированных сигналов входа и выхода. В среде Matlab были получены следующие формы математических моделей функции:

1) Полная модель:

$$A(q)y(t) = [B(q)/F(q)]u(t) + [C(q)/D(q)]e(t).$$

2) Модель максимального правдоподобия (BJ-модель):

$$y(t) = [B(q)/F(q)]u(t) + [C(q)/D(q)]e(t).$$

3) Расширенная модель наименьших квадратов (ARMAX-модель):

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t).$$

4) Модель наименьших квадратов:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t).$$

5) Модель стохастической аппроксимации (ОЕ-модель):

$$y(t) = [B(q)/F(q)]u(t) + e(t).$$

Вычислялись ошибки идентификации для различных типов моделей, и определялись среднеквадратичные значения ошибок.

Наименьшее значение ошибки дает модель стохастической аппроксимации с передаточной функцией

$$W_m(p) = \frac{5,5191 \times 10^{-5} (p^2 + 1,527p + 1,024)}{p^2 + 0,04515p + 0,01391}.$$

На рис. 5 переходная характеристика этой модели выделена жирной линией. Время запаздывания, определенное по взаимной корреляционной функции, составляет 12 секунд.

### Выводы

Рассмотренный алгоритм оценки параметров технического состояния функциональных подсистем теплоэнергетических автоматизированных систем управления технологическими процессами основан на оценке параметров цифровых параметрических стохастических моделей авторегрессии и скользящего среднего, связывающих вход и выход системы. Доказано, что оценку параметров этих моделей, а следовательно, и оценку технического состояния функциональных подсистем целесообразно производить с помощью методов параметрической идентификации. Большим преимуществом методов параметрической идентификации является возможность использования рекуррентных алгоритмов, которые позволяют проводить текущую идентификацию в реальном времени при номинальных режимах работы объекта. Проверка предложенного алгоритма оценки технического состояния функциональных подсистем теплоэнергетических автоматизированных систем управления технологическими процессами проводилась на реальном теплоэнергетическом объекте (подсистема газорегуляторного пункта). Сравнительный анализ переходных характеристик моделей ГРП позволяет сделать вывод о том, что параметрическая идентификация моделей, основанная на использовании рекуррентных методов идентификации при естественных шумах объекта, может приводить к ошибкам идентификации и в некоторых случаях для компенсации ошибок вычисления среднего может потребоваться создания искусственных возмущений.

### Список литературы

1. Изерман, Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
2. Коновалова, И.И. Быстродействующий, рекуррентный, шаговый алгоритм экстремального экстремума подачи воздуха в топку / И.И. Коновалова, С.В. Селезнева // В мире научных открытий. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2013. – № 2(38). – С. 211–221.
3. Коновалова, И.И. Алгоритм настройки адаптивных регуляторов / И.И. Коновалова, С.В. Селезнева, А.Н. Коновалов, А.Н. Бормотов // В мире научных открытий. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2013. – № 6(42). – С. 22–33.
4. Куржанский, А.Б. Идентификация нелинейных процессов – гарантированные оценки / А.Б. Куржанский, В.Д. Фурасов // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 6. – С. 70–87.
5. Липов, Ю.М. Котельные установки и парогенераторы / Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика: Институт компьютерных исследований», 2006. – 592 с.
6. Медведев, В.С. Control System Toolbox. MATLAB 5 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002.
7. Розов, А.К. Оценивание параметров случайных сигналов в автоматических системах / А.К. Розов. – Л.: Машиностроение, 1990. – 171 с.
8. Савараш, Е. Классические методы в оценивании временных рядов / Е. Савараш, Т. Созда, Т. Накамизо // Современные методы идентификации систем / под ред. П. Эйкхоффа. – М.: Мир, 1984. – 400 с.

9. Семенов, А.Д. Оценка экономичности процесса горения в топке котла по регулируемым параметрам этого процесса / А.Д. Семенов, И.И. Коновалова // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2008. – №45. – С.179–182.
10. Сильвестров, А.Н. Идентификация и оптимизация сложных систем / А.Н. Сильвестров, П.И. Чинаев. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 115 с.
11. Chen, T. Optimal samleg – data control system / T. Chen, B.A. Francis. – Berlin – Heidelberg. – New York: Springer Verlag, 1995.
12. Hagan, M.T., O. De Jesus, and R. Schultz. Training Recurrent Networks for Filtering and Control, Chapter 12 in Recurrent Neural Networks: Design and Applications, L. Medsker and L.C. Jain, Eds., CRC Press. 1999. – P.311-340.
13. Izerman P. Stand und Entwicklung stenden zen bei adaptiven Regelungen / P. Izerman // Automatic sierungstechnicc at. 35. Jahrgang. 1987. Heft 4. – P.133–143.
14. Landau Y.D. Adaptive Control. M. Dekker. – New York, 1979.
15. Nauta Lemke, van, H.R., Krugsman A.J. Design of fuzzy PID supervisors for systems with different performance requirements // Proceedings IMACS' 91. – Dublin, Ireland, 1991.

#### References

1. Izerman, R. Digital control systems / R. Izerman. – М.: Mir, 1984. – 541 p.
2. Konovalova, I.I. Highspeed, recurrent, stepwise algorithm of an extreme regulator of air supply in a fire box / I.I. Konovalova, S.V. Selezneva // In the world of scientific discovery. – Krasnoyarsk: Research and innovation centre, 2013. – № 2(38). – P. 211–221.
3. Konovalov, I.I. Algorithm setting adaptive controllers / A.I. Konovalov, S.V. Seleznev, A.N. Konovalov A.N. Bormotov // In the world of scientific discovery. – Krasnoyarsk: Research and innovation centre, 2013. – № 6(42). – P. 22-33.
4. Kurzhanski, A.B. Identification of nonlinear processes – guaranteed evaluation / A.B. Kurzhanski, EAST of Furasov // Automation and remote control. – 1999. – № 6. – P. 70-87.
5. Lipow, Y.M. Boilers and steam generators / Y.M. Lipow, Y.M. Tretyakov. – Izhevsk: center "Regular and chaotic dynamics: Institute of computer science», 2006. – 592 p.
6. Medvedev, V.S. Control System Toolbox. MATLAB 5 / V.S. Medvedev, V.G. Potemkin. – М: DIALOG-MIFI, 2002.
7. Rozov, A. Estimation of random signals in the automatic systems / A. Rozov. – Leningrad: Mashinostroenie, 1990. – 171 S.
8. Samaras, E. Classical methods in the assessment of the time series / E. Samaras, T. Soeda, T. Nakamizo // Modern methods of identification systems / Ed. P. Eickhoff. – М.: Mir, 1984. – 400 p.
9. Semenov, A.D. Assessment of the efficiency of the combustion process in the boiler furnace on the controlled parameters of this process / A.D. Semenov, I.I. Konovalov // Journal of scientific publications of post-graduate students and doctoral candidates. – 2008. – №45. – P.182.
10. Silvestrov, A. Identification and optimization of complex systems / A.N. Silvestrov, P.I. Chinaev. – М: Energoatomizdat, 1987. – 115 p.
11. Chen T., Francis B.A. Optimal samleg – data control system. Berlin – Heidelberg – New York: Springer Verlag, 1995.
12. Hagan, M.T., O. De Jesus, R. Schultz. Training Recurrent Networks for Filtering and Control, Chapter 12 in Recurrent Neural Networks: Design and Applications, L. Medsker and L.C. Jain, Eds., CRC Press, (1999): 311-340.
13. Izerman P. Stand und Entwicklung stenden zen bei adaptiven Regelungen // Automatic sierungstechnicc at. 35. Jahrgang, h.4 (1987): 133-143.
14. Landau Y.D. Adaptive Control. M. Dekker. New York, (1979).
15. Nauta Lemke, van, H.R., Krugsman A.J. Design of fuzzy PID supervisors for systems with different performance requirements // Proceedings IMACS' 91. – Dublin, Ireland, (1991).

# АРХИТЕКТУРА

# ARCHITECTURE

УДК 726.5

*Московский архитектурный институт*  
Россия, 107031, г. Москва,  
ул. Рождественка, д. 11  
тел.: (495) 625-5082

**Борисов Сергей Владимирович**,  
кандидат архитектуры, доцент кафедры  
«Основы архитектурного проектирования»  
E-mail: borisov-sv@inbox.ru

*Moscow Institute of Architecture*  
Russia, 107031, Moscow, 11,  
Rozhdestvenka St.  
tel.: (495) 625-5082

**Borisov Sergey Vladimirovich**,  
Candidate of architecture, Associate Professor  
of the department «Fundamentals of  
Architectural Design»  
E-mail: borisov-sv@inbox.ru

## О КРИТЕРИЯХ ОЦЕНКИ ОБЪЕМНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ

С.В. Борисов

Проанализированы композиционные решения приходских храмов с позиции понятия структурного элемента. Предложена система факторов для оценки выразительности объемных композиций проектируемых храмов.

*Ключевые слова: православный храм, архитектурное проектирование, объемная композиция, структурный элемент*

## EVALUATION CRITERIA FOR ORTHODOX CHURCHES SPATIAL COMPOSITION

S.V. Borisov

The paper analyzes composition solutions of parish churches from the point of the concept of a structural element. We propose a system for assessing the expressiveness factors of spatial compositions of modern temples.

*Keywords: Orthodox church, architectural design, space-planning composition, structural element*

**Структурный элемент православного храма.** Приходские храмы, в большинстве своем, состоят из множественных объемно-пространственных частей, для которых автором введено понятие структурного элемента, первичного и укрупненного [1]. Первичный структурный элемент храма является неделимой частью объема, ограниченной единой конструкцией свода и вертикальными плоскостями, проходящими через его опорные элементы. Первичными структурными элементами являются: бесстолпные главный и придельные храмы с апсидами, а также отдельные ячейки в составе крестово-купольной конструкции сводов, трапезной и притвора в пределах единой конструкции свода.

Укрупненным структурным элементом храма назовем группу первичных ячеек, объединенных общим функциональным назначением и выраженных в едином объеме. Укрупненному структурному элементу соответствуют: крестово-купольный храм; трапезная, включающая в свой объем приделы и притворы; галерея, состоящая из повторяющихся ячеек сводов. Также укрупненным элементом является колокольня

(звонница). В ней первичные структурные элементы нескольких ярусов, различающихся по геометрическим параметрам плана, группируются в соответствии с вертикальной направляющей.

**Факторы оценки объемной композиции храма.** Сложность и многообразие объемных композиций, тесно связанных с архитектурно-художественными решениями, затрудняют их оценку, неизбежно вводя в нее «вкусные», не поддающиеся анализу характеристики, что вызывает необходимость поиска объективных оценочных факторов, общих для различных храмов. Рассмотрим факторы оценки объемных композиций в связи с символическими значениями храма и его частей [2, 3].

Православный храм в «духовном значении своих отдельных частей и в их совокупности соответствует иерархическому устройству Церкви ... духовному состоянию, которое изображается каждым иерархическим чином ... иерархии небесных, ангельских существ» [4]. Связь с иерархичностью прочитывается при «изъяснении смысла форм христианского богослужения»: «и вот, престол стоял на небе, и на престоле был Сидящий; ... И вокруг престола двадцать четыре престола; а на престолах видел я сидящих двадцать четыре старца» (Откр. 4:2, 4:4).

Храм, как дом Господень, являясь, по словам архиепископа Иллариона (Троицкого) [3], образом Царства Небесного на земле, наследует иерархичность, которая, очевидно, проявляется и в его объемном построении – так, помимо притвора и трапезной, приделы находятся в подчиненном по отношению к главному храму положении. Исходя из сказанного, при оценке композиционного решения храма в связи с его символическими значениями, следует рассматривать пространственное выделение средней части или главного храма, при наличии приделов.

Учитывая значение храма, как множества составляющих Церковь христиан: «ибо как тело одно, но имеет многие члены, и все члены одного тела, хотя их и много, составляют одно тело, так и Христос» (1 Кор. 12:12), подлежит оценке целостность объемной композиции. При множественности объемов, характерной для рассматриваемых храмов, следует подчеркнуть первостепенное значение очевидных для архитектурной композиции оценочных факторов целостности и соподчиненности структурных элементов, выделения средней части (главного храма).

Для детализации факторов оценки объемной композиции отметим особенности построения внутреннего пространства в приходских церквях. Средней части храма, как правило, отвечает повышенное пространство, перекрытое различными типами центрических сводов. Придел, пристроенный к главному храму, а в ряде случаев к трапезной, выделяется повышением во внутреннем пространстве, тогда как обширная трапезная и притвор отличаются пониженной системой сводов. При включении приделов в объем трапезной в ряде построек они не выделяются во внутреннем пространстве храма, находясь в ряду сводчатых перекрытий единого зального помещения.

Перечисленные особенности объединенных помещений храма, выражая символическое значение его частей, во время богослужения создают целостное, повышающееся по направлению к средней части пространство. При отделении приделов и трапезной для ежедневного богослужения (далее называемом отдельными режимами эксплуатации частей храма) или для размещения святыни – музейной ценности, они могут характеризоваться пониженной системой сводов, не создавая торжественный и возвышенный образ храма, соответствующий его символическому значению. Отметим, что объемное выделение во внутреннем пространстве храма придела для постоянного богослужения или размещения святыни – музейной ценности [5, 6] является одним из объективных факторов оценки проектного решения.

Рассмотрим применение факторов оценки объемной композиции, основанное на определении видового раскрытия средней части при круговом обходе вокруг храма, при этом особое внимание уделим видимости главного четверика с запада, от главного входа. Для решения поставленной задачи применим графические схемы анализа, показывающие угол раскрытия основного объема храма с различных видовых точек. В схемах приняты следующие градации степени обзора: полный обзор четверика, частичный обзор четверика, четверик полностью скрыт примыкающими к нему объемами.

**Анализ объемно-планировочных композиций храмов.** Обход вокруг храмов предполагается на близких от них расстояниях, соответствующих Крестному ходу в пределах церковных участков, площадь которых невелика в современных условиях загородных поселений. Рассматриваемые архитектурно-художественные решения храмов являются условными моделями, обобщенно представляющими характеристики той или иной объемно-планировочной композиции, основанными на авторском анализе ряда приходских церквей.

**Объемно-планировочная композиция 1** (рис. 1 а). Композиционное решение храма отличается целостностью и соответствует символическому значению «корабля спасения». Основной объем храма раскрыт с северо-запада – юго-запада, но полностью скрывается за колокольной и трапезной со стороны западного входа. Объемно-планировочная композиция не предполагает отдельные режимы эксплуатации частей храма, поэтому построение внутреннего пространства является единым, сочетающим невысокую трапезную и повышенный главный четверик.

**Объемно-планировочная композиция 2** (рис. 1 б). Композиционное решение характеризуется целостностью объемного построения, выделяющего основной храм при пониженных боковых притворах. Колокольня, близко расположенная к главному храму, подчинена ему по объемным параметрам. Основной объем храма раскрыт с востока, с юго-запада и северо-запада, но полностью скрывается за колокольной и трапезной со стороны западного входа. Композиционное решение не предполагает отдельные режимы эксплуатации частей храма, поэтому построение внутренних объемов является единым, сочетающим невысокие притворы и повышенное пространство главного четверика.

**Объемно-планировочные композиции 3, 4** (рис. 2 а, 2 б). Для создания целостной объемно-планировочной композиции при единственном приделе целесообразно применение архитектурных приемов уравновешенной асимметрии. Основной объем храма раскрыт с северо-запада – севера для храма 3 (северо-востока – юго-запада для храма 4), но полностью скрывается за колокольной и трапезной со стороны западного входа, за приделом с юго-запада для храма 3 (северо-запада для храма 4).

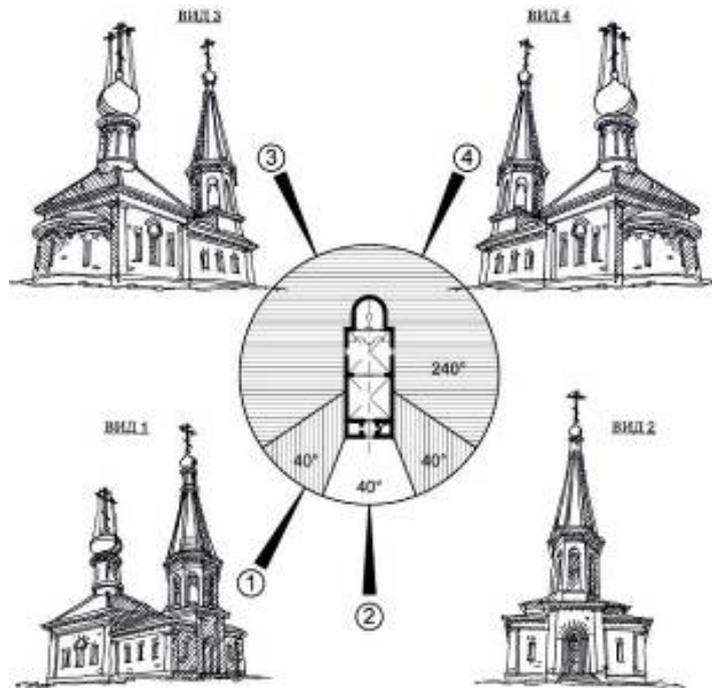
**Объемно-планировочная композиция 5** (рис. 3 а). Композиционное решение характеризуется пространственным противоречием между главным храмом и трапезной с включенными в нее приделами, значительно превосходящими основной четверик по габаритам. Основной объем храма раскрыт с северо-востока – юго-востока, но полностью скрывается за колокольной, трапезной и приделами со стороны западного входа.

**Объемно-планировочная композиция 6** (рис. 3 б). Композиционное решение, характеризующееся целостностью, частично нарушаемой крупным объемом трапезной, требует значительной высоты завершения главного объема, закрытого боковыми приделами. Основной объем храма раскрыт с востока, но полностью скрывается за колокольной, трапезной и приделами со стороны западного входа.

**Объемно-планировочная композиция 7** (рис. 4 а). Композиционное решение, характеризующееся целостностью, требует значительной высоты завершения главного объема, закрытого боковыми приделами. Колокольня, близко расположенная к главному храму, подчинена ему по высотным параметрам. Основной объем храма раскрыт с востока, но полностью скрывается за колокольной, трапезной и приделами со стороны западного входа.

**Сопоставление композиционных решений приходских храмов.** Рассматривая общие позиции построения внутреннего пространства анализируемых храмов, отметим, что в объемно-планировочных композициях 3–5 (рис. 2, 3 а) при отделении придела (приделов) с трапезной или притвором для ежедневного богослужения эти помещения характеризуются пониженной системой сводов с включенным в нее или несколько возвышающимся объемом придела. У рассмотренных храмов 3–7 (рис. 2–4 а) объемное решение выделенных помещений, реализующих отдельные режимы эксплуатации, не создает во внутреннем пространстве целостный и торжественный образ.

а



б

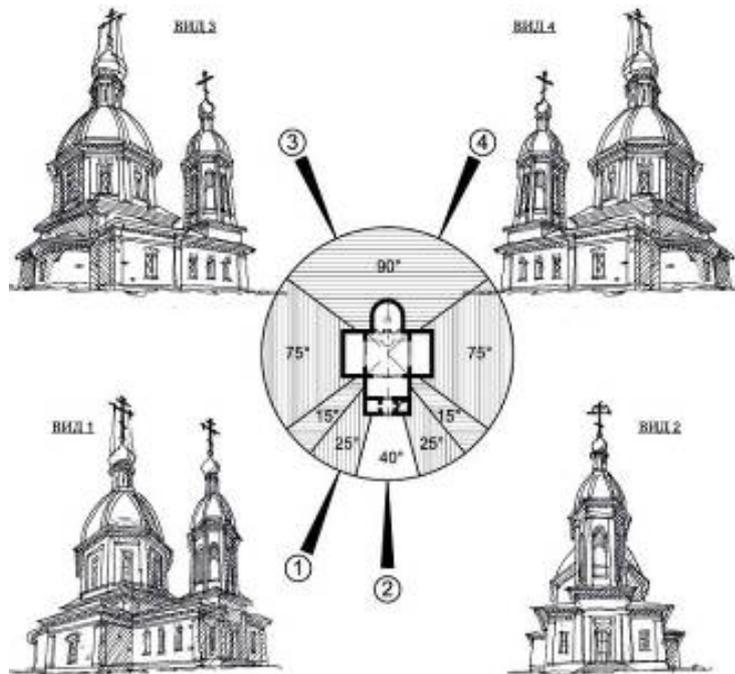


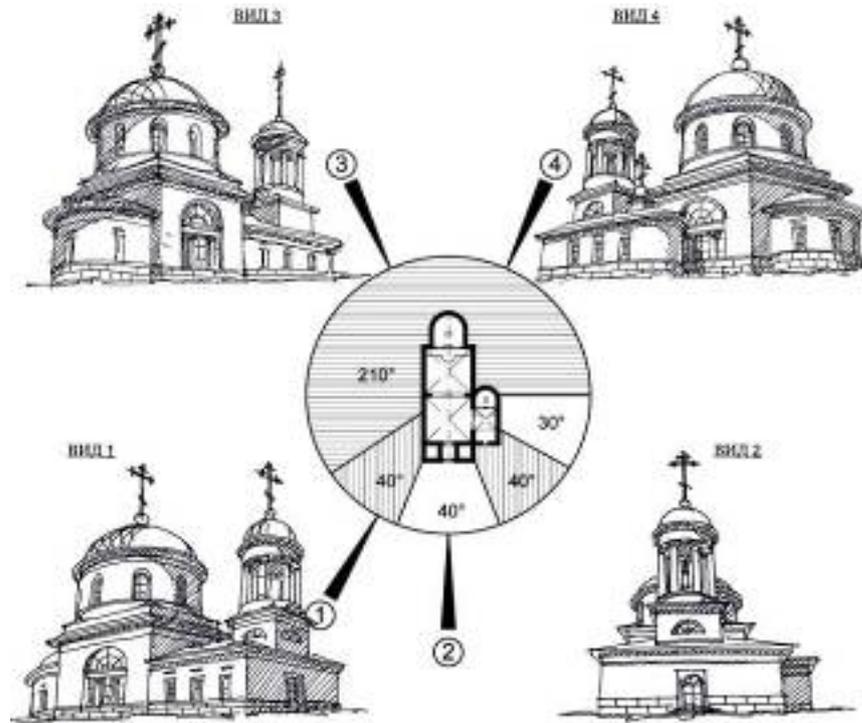
Рис. 1. Оценка объемной композиции храма:

а – храм без приделов; б – храм без приделов, боковые притворы пристроены к четверику

Условные обозначения:

- ПОЛНЫЙ ОБЗОР ЧЕТВЕРИКА
- ЧАСТИЧНЫЙ ОБЗОР ЧЕТВЕРИКА
- ЧЕТВЕРИК ПОЛНОСТЬЮ СКРЫТ СО СТОРОНЫ ГЛАВНОГО ВХОДА

a



б

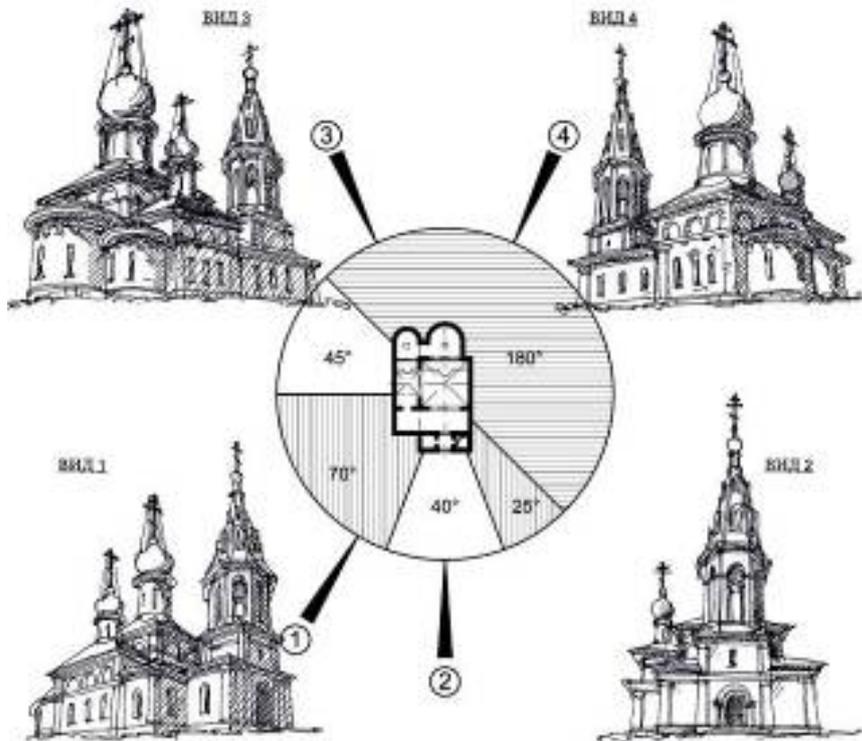
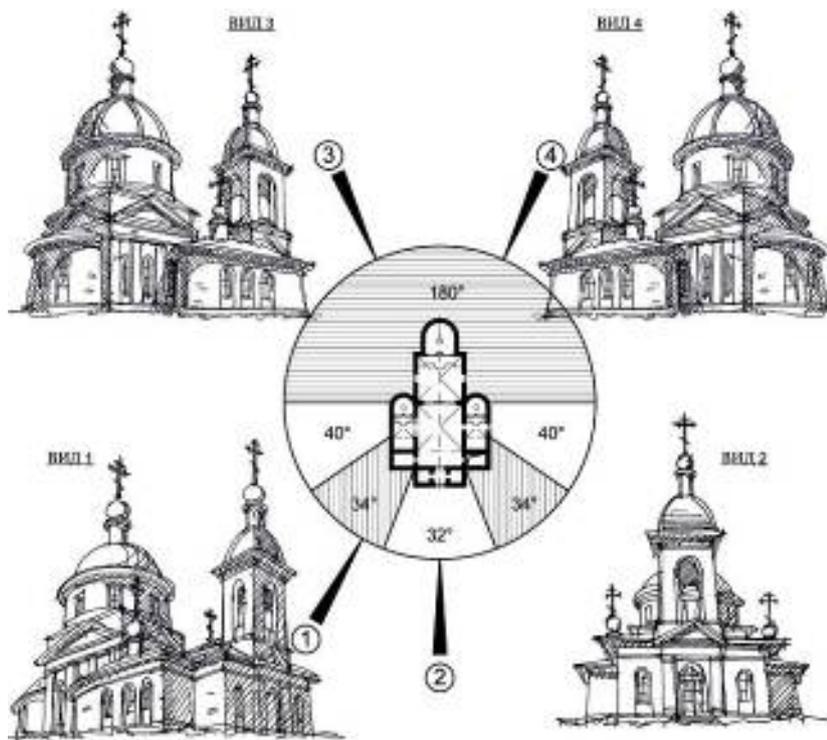


Рис. 2. Оценка объемной композиции храма:  
 а – храм с единственным южным приделом, пристроенным к трапеznой;  
 б – храм с единственным северным приделом, пристроенным к четверику, по его центру

а



б

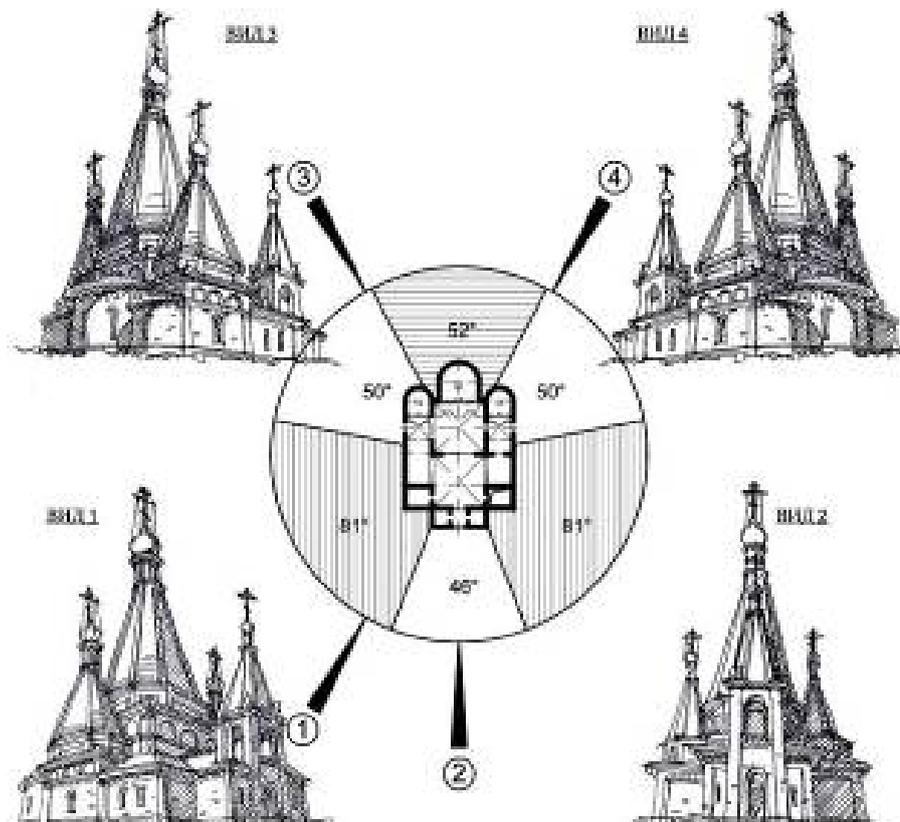
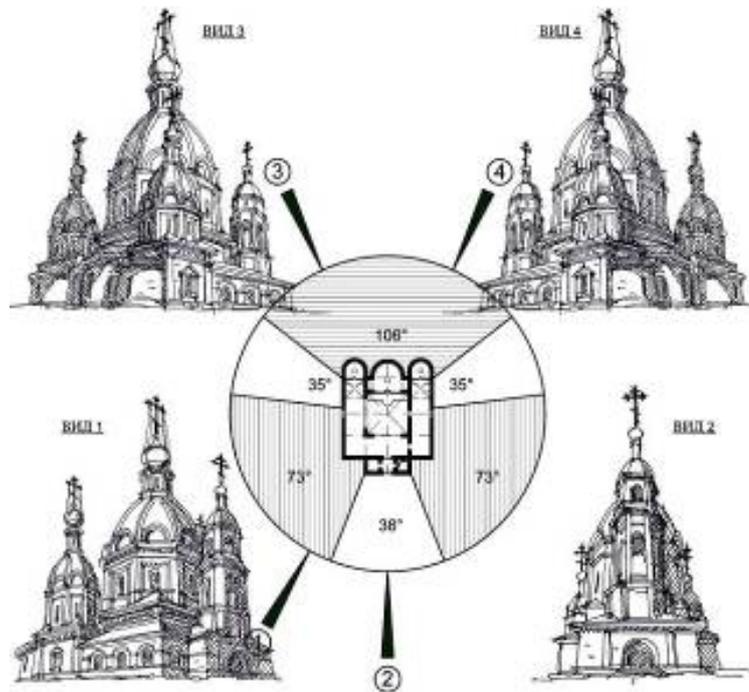


Рис. 3. Оценка объемной композиции храма:  
 а – храм с двумя приделами, пристроенными к трапезной;  
 б – храм с единственным северным приделом, пристроенным к четверику, по его центру

а



б

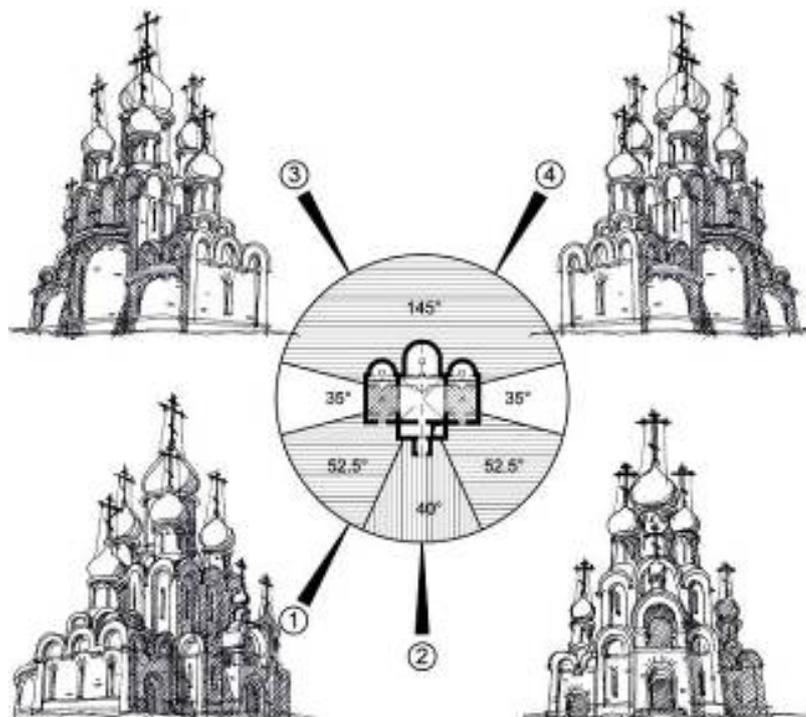


Рис. 4. Оценка объемной композиции храма:  
 а – храм с двумя приделами, пристроенными к четверику, в его восточной части;  
 б – храм с двумя приделами, пристроенными к четверику,  
 средняя часть развита по оси север-юг

Сопоставляя результаты исследования храмов на основе факторов оценки объемной композиции, отметим, что наибольшей целостностью отличается первый храм (рис. 1 а), с символическим значением «корабля спасения». А также второй (рис. 1 б), с центрическим расположением средней части и крестообразно пристроенными к ней притворами; седьмой (рис. 4 а), где главный объем с запада, севера и юга окружен невысокой галереей, объединенной с приделами. Объемно-планировочные композиции 2 (рис. 1 б) и 7 (рис. 4 а) характеризуются соподчиненностью и компактностью элементов храма, выявляющих главенствующую роль центрального четверика; вместе с тем в этих храмах невозможно или затруднено применение отдельных режимов эксплуатации.

Композиционные решения храмов, наиболее приспособленные для отдельных режимов эксплуатации их частей, напротив, не отличаются соответствием требованиям, предъявляемым к объемному построению. Так, в третьем (рис. 2 а) и пятом (рис. 3 а) храмах, позволяющих рационально отделять приделы с трапезной для ежедневного богослужения, в западной части находятся крупные объемы, входящие в пространственное противоречие с главным четвериком. Во всех рассмотренных объемно-планировочных композициях колокольня препятствует видовому раскрытию средней части храма с главного западного входа. Результаты оценки объемных композиций храмов показали, что поставленным условиям наиболее соответствуют храмы с минимальными расположенными с запада объемами (рис. 4 б) [7].

**Выводы.** Метод построения схем, определяющих сектор видового раскрытия главного храма, позволил провести оценку качества проектного решения в соответствии с факторами объемной композиции. Ими являются:

пространственное раскрытие основного объема храма, его видимость от главного западного входа и во время Крестного хода;

целостность объемной композиции, выявление средствами архитектурной композиции доминирующей роли главного храма;

формирование во внутреннем пространстве объединенных и выделенных помещений повышения главного и придельных храмов.

Приведенные в настоящей работе результаты исследований свидетельствуют о том, что далеко не все из наиболее традиционных и часто встречающихся приходских храмов, состоящих из нескольких структурных элементов, соответствуют современным требованиям с точки зрения выразительности их композиционных решений. Намеченный подход к проектированию предоставляет широкие возможности для композиционного творчества в области храмостроения, определяя направления для создания ранее не применявшихся архитектурных решений.

### Список литературы

1. Борисов, С.В. Православные приходские храмы. Исторический анализ и методика проектирования / С.В. Борисов. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 262 с.
2. Бусева-Давыдова, И.А. Символика архитектуры по древнерусским письменным источникам XI-XVII веков / И.А. Бусева-Давыдова // Православные Храмы. – М.: АХЦ «АРХХРАМ», 2005. – Т. 1. – С.142–150.
3. Илларион (Троицкий), сщмч. Краеугольный камень Церкви / Илларион (Троицкий). – <http://pravbeseda.ru>.
4. Храм, обряды, богослужения / Православие и современность. Информационный портал Саратовской епархии РПЦ. – <http://lib.eparhia-saratov.ru>.
5. Борисов, С.В. Архитектурные особенности действующих храмов, предназначенных для размещения объектов культурного наследия, переданных из музеев / С.В. Борисов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – №7(54). – С. 28–33.

6. Борисов, С.В. Современный подход к обеспечению сохранности объектов культурного наследия / С.В. Борисов // Наука и технологии в промышленности. – 2011. – №4. – С. 124–126.

7. Борисов, С.В. Традиционные планировочные решения православных приходских храмов: актуальность современного применения / С.В. Борисов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3(17). – С. 168–173.

#### References

1. Borisov, S.V. Orthodox parish churches. Historical analysis and design methodology / S.V. Borisov. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 262 p.

2. Buseva-Davydova, I.A. Symbolism of architecture around ancient written sources XI–XVII centuries / I.A. Buseva-Davydova // Orthodox Churches. – М.: «Арххрам», 2005. – Vol. 1. – P. 142–150.

3. Illarion (Troitsky). The cornerstone of the Church / Illarion (Troitsky). – Available at: <http://pravbeseda.ru>.

4. Temple, rituals, liturgy. Orthodoxy and modernity // Information portal of the Saratov diocese of the Russian Orthodox Church. – Available at: <http://lib.eparhia-saratov.ru>.

5. Borisov, S.V. Architectural peculiarities of existing temples designed for layout of the cultural heritage objects delivered from museums / S.V. Borisov // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. – Irkutsk, 2011. – №47(54). – P. 28–33.

6. Borisov, S.V. The modern approach to the preservation of cultural heritage / S.V. Borisov // Science and technology in the industry. – 2011. – №4. – P. 124–126.

7. Traditional planning solutions Orthodox parish churches: the relevance of modern applications // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3 (17). – P. 168–173.

---

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 338.242.2

Государственный университет управления  
Россия, 109542, Москва,  
Рязанский проспект, 99  
тел./факс: +7 (495) 377-89-14

**Паночкина Лидия Владимировна**  
E-mail: panochkina@mail.ru

State University of Management  
Russia, 109542, Moscow, 99,  
Ryazansky prospect  
tel.: (495) 625-5082

**Panochkina Lidiya Vladimirovna,**  
E-mail: panochkina@mail.ru

### УПРАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ РИСКАМИ НА ЭТАПЕ БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ БАЛЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ

Л.В. Паночкина

Раскрыт подход к внедрению системы управления рисками на этапе бизнес-планирования инвестиционно-строительных проектов. Разработан метод последовательной балльной сортировки, учитывающий ранжирование экономических рисков по значимости с помощью трех и более критериев.

*Ключевые слова: управление проектом, бизнес-план, экономические риски, метод последовательной балльной сортировки.*

#### RISK MANAGEMENT AT THE BUSINESS PLANNING BY CONSECUTIVE SORTING POINT

L.V. Panochkina

Risk management at the business planning is considered as fundamental process in project management. Consecutive sorting point is used as innovation rank method in risk management, using three or more criterions.

*Keywords: project management, business plan, economic risks, consecutive sorting point method.*

В настоящее время с проведением экономических реформ в Российской Федерации возрос интерес к оценке риска в бизнесе. Рыночная экономика характеризуется неопределенностью в получении планируемого конечного результата, вследствие чего возрастает степень экономического риска. В новых экономических условиях деятельность организации невозможна без риска, поэтому необходимыми являются навыки и умения менеджеров оценивать степень риска и управлять им с целью его уменьшения на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.

Управление риском при бизнес-планировании инвестиционно-строительных проектов как самостоятельное направление научных исследований еще не получило достаточного теоретического изучения, методологического обоснования и практического внедрения. В связи с этим проблема управления рисками при бизнес-планиро-

вании инвестиционно-строительных проектов актуальна в научном плане. Опыт развития экономики зарубежных стран показывает, что недостаточный учет риска при разработке инвестиционно-строительного проекта и планировании политики его реализации неизбежно сдерживает развитие строительной организации, научно-технического прогресса и приводит к застою ее производственно-хозяйственной деятельности.

Современные экономические условия хозяйствования привели к появлению новых стадий инвестиционного цикла строительства объектов недвижимости, изменили его содержание с внедрением информационных технологий управления и привели к появлению новых форм документации. Одним из основных документов инвестиционного проектирования является бизнес-план проекта, содержащий информацию об экономической привлекательности капитальных вложений в проект, организационно-застройщике и ее деятельности на рынке, целях и задачах проекта и его экономической эффективности. В большинстве случаев при разработке бизнес-плана наблюдается низкий уровень инвестиционного проектирования и обоснования, которые не отражают специфику изменчивого строительного рынка и не гарантируют инвесторам получения прогнозируемого уровня прибыли. Это объясняется тем, что при бизнес-планировании инвестиционно-строительного проекта не учитываются особенности инвестиционного процесса в экономике и связанные с ним риски. Инвестиционно-строительный проект реализуется в условиях инфляции, экономической неопределенности и нестабильности и требует более точных инвестиционных расчетов. В связи с этим при разработке бизнес-плана следует учитывать множество рискованных ситуаций, возникающих в ходе реализации проекта и характерных для рыночной экономики.

В большинстве случаев при разработке бизнес-плана наблюдается низкий уровень инвестиционного проектирования и обоснования, который не учитывает специфики изменчивого строительного рынка и не гарантирует инвесторам получения прибыли от проекта. Это объясняется тем, что при бизнес-планировании не учитываются особенности инвестиционного процесса в российской экономике. Любой проект требует точных инвестиционных расчетов и реализуется в условиях инфляции, а также экономической и политической нестабильности. В связи с этим на каждом этапе разработки бизнес-плана следует учитывать множество рискованных ситуаций, характерных для рыночной экономики. Экономический риск представляется как вероятность появления неблагоприятных последствий при реализации инвестиционно-строительного проекта.

Применяемые ранее методы расчета поправки на риск не в полной мере охватывают всю проблематику вопроса оценки рисков, так как зачастую оценка производится по двум показателям, что снижает точность подсчетов ущерба. Анализ методических подходов и методов управления рисками проекта показал, что существующие методы и подходы не позволяют масштабно, уже на этапе бизнес-планирования проекта, оценить все возможные рискованные ситуации и определить привлекательность проекта. В современной экономике назрела острая необходимость развития методологии управления рисками инвестиционно-строительных проектов, а также разработки практических рекомендаций по снижению степени риска проекта в конкурентной борьбе строительных организаций за получение подрядных контрактов. Для этого поставлена научная задача по формированию максимально эффективных механизмов управления экономическими рисками при бизнес-планировании инвестиционно-строительных проектов, позволяющих уже на этапе бизнес-планирования минимизировать количество катастрофических и критических рисков и величину их воздействия на конечный результат реализации проекта.

Используемая при определении экономической эффективности проекта методика расчета основана на применении методов дисконтирования, что значительно снижает инфляционные риски и довольно точно определяет уровень рентабельности и сроки окупаемости проекта. Однако эти методы не дают достаточной гарантии ликвидации или уменьшения риска проекта, так как тенденции неустойчивой экономики имеют динамический характер.

На первом этапе анализа и оценки риска определяются источники и причины его возникновения с целью получения информации для выбора экономически эффективного управленческого решения из имеющихся альтернатив по защите от возможных материальных, трудовых и финансовых потерь в процессе реализации проекта.

Для анализа и оценки различных видов риска используется разнообразная информация, включающая объективные данные и оценки экспертов для количественной характеристики неопределенности и обоснованные расчетом возможного воздействия неопределенности на доход. Результат анализа и оценки риска в этом случае выражается в виде вероятностного распределения предполагаемых значений доходности.

Картографирование является графическим аналитическим инструментом мониторинга и аудита рисков проекта и представляет собой системную методологию, сутью которой является определение, ранжирование и визуальная оценка потенциальных рисков инвестиционно-строительного проекта. Область риска определяет суммарные потери от возникновения негативных событий при реализации инвестиционно-строительного проекта. Метод картографирования позволяет выявить катастрофические риски, по которым в дальнейшем разрабатывается план антирисковых мероприятий, а также определить степень воздействия рискообразующих факторов на реализацию проекта. Но с помощью данного метода анализ рисков осуществляется по упрощенной модели, в основе которой лежат только два количественных показателя риска, хотя на практике риск характеризуется несколькими показателями, значения которых накладываются друг на друга. Также картографирование не способно отобразить корреляционное влияние на конечный результат проекта двух и более рисков.

Устранить недостатки картографирования предлагается разработанным автором методом последовательной балльной сортировки и оценки рисков проекта. Предлагаемый метод представляет собой комбинированный, систематический, охватывающий все стороны производственно-хозяйственной деятельности организации метод, позволяющий выделить, расположить по приоритетам и количественно оценить возможные риски уже на стадии бизнес-планирования инвестиционно-строительного проекта. Суть метода последовательной балльной сортировки рисков проекта состоит в повышении точности анализа рисков за счет использования более чем двух важных характеристик риска.

Инструментом анализа ситуаций принятия решений, требующих оценки степени риска, являются экспертные системы. Степень риска получает количественное выражение через индекс риска, позволяющий ранжировать ситуации по степени риска. При применении экспертной системы первоначально необходимо систематизировать и классифицировать основные факторы риска при реализации проекта [2].

После идентификации рискованных ситуаций, возникающих с вероятностью на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта, разрабатывается матрица рисков, представляющая собой табличное описание выявленных рисков (см. таблицу). Затем выявленные риски последовательно сортируются по убыванию по трем критериям, которыми являются продолжительность негативного влияния от наступления рискованного события, вероятность возникновения риска и прогнозируемый ущерб от риска. На каждом этапе сортировки рискам присваиваются баллы по убыванию их значимости. Первый после сортировки риск как наиболее критический получает максимальное количество баллов, а следующий за ним – на один балл меньше. Риски, имеющие одинаковое значение параметра на каком-либо этапе сортировки, получают одинаковое количество баллов. Расположенные на последних строчках отсортированной матрицы риски являются наименее опасными и оцениваются в наименьшее количество баллов. Суммарный балл риска определяется суммированием баллов, полученных на каждом этапе сортировки.

Выявленные риски разделяются на три области согласно критерию опасности для реализации проекта. Катастрофические риски области «А» занимают верхнюю часть таблицы рисков, критические риски области «В» расположены ниже области «А» в центральной части таблицы. Нижняя часть таблицы содержит в себе несущественные экономические риски области «С».

Один из методов оценки риска включает применение ориентировочной величины поправки на риск неполучения предусмотренных проектом доходов. При бизнес-планировании инвестиционно-строительных проектов целесообразно применять пофакторный метод, в соответствии с которым поправка на риск рассчитывается пофакторным суммированием величин отдельных поправок на риск, относящихся к отдельным факторам риска. К наиболее значимым факторам риска проекта относятся следующие:

- изменчивость внешней среды строительной организации;
- инновационность применяемых технологий;
- неопределенность планируемых уровня цен и объемов спроса;
- нестабильность процесса внедрения научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок.

Матрица рисков инвестиционно-строительного проекта

Область риска	Характеристика риска	Критерий сортировки			Присвоенные баллы по критерию			Суммарный балл
		Продолжительность риска, мес	Вероятность риска, %	Ущерб от риска, %	Продолжительности риска	Вероятности риска	Ущерб от риска	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>А</b>	– Фактическое превышение плановой себестоимости строительного производства; – и т.д.	14	38	27	28	31	31	90
<b>В</b>	– Задержка предоставления земли под строительство объекта; – и т.д.	6	12	25	17	20	24	61
<b>С</b>	– Срыв финансирования субподрядчиков по строительству завода; – и т.д.	2	10	14	7	18	14	39

Каждому фактору риска присваивается величина поправки, которая зависит от значимости проекта, а также от отрасли и региона. Пофакторный метод исходит из предпосылки, что риск представляет собой возможность неполучения планируемых доходов в результате наступления соответствующего отрицательного события, что характерно для современной российской экономики. По методике [1] ущерб или упущенная выгода от возникновения рисков ситуаций в процессе реализации проекта определяется по следующей формуле:

$$Y_0 = \sum_{i=1}^n B_i K_i C_0 D_i (1 - p),$$

где  $Y_0$  – ущерб при проявлении всех  $i$ -х рисков в расчетном периоде на рассматриваемом объекте (проекте) в денежных единицах;  $B_i$  – нормативная вероятность

проявления  $i$ -го риска в расчетном периоде в долях единицы;  $K_i$  – коэффициент, учитывающий долю  $i$ -го риска по отношению к временному периоду нормативной вероятности в долях единицы;  $C_0$  – стоимость объекта риска в денежных единицах;  $D_i$  – доля объекта, на которую влияет  $i$ -й риск в долях единицы;  $p$  – вероятность, учитывающая повторный счет поправок на риски, если они зависят друг от друга по отдельным факторам в долях единицы;  $N$  – количество учитываемых факторов.

Основополагающий принцип управления экономическими рисками инвестиционно-строительного проекта заключается в возможности рисковать инвестиционными капиталными вложениями только при условии, что прогнозируемая прибыль проекта превысит стоимость инвестиций в совокупности с поправкой на риск. Величина поправки на риск рассчитывается на основе учета вероятности возникновения негативного события, требований инвесторов, объема капиталных вложений и значимости инвестиционно-строительного проекта для строительной организации и экономики страны в целом.

Метод последовательной балльной сортировки является инновационным аналитическим инструментом в области риск-менеджмента и применяется для того, чтобы выявить экономические риски проекта и ранжировать их по степени важности для конечной цели реализации проекта. Риск оценивается с учетом всех присущих ему характеристик без ограничения по их количеству. Это позволяет оценивать привлекательность инвестиционно-строительного проекта и принимать верное управленческое решение на прединвестиционной стадии жизненного цикла проекта. Помимо этого, метод последовательной балльной сортировки рисков проекта помогает в оперативном и стратегическом планировании деятельности, а также при разработке существующих и оценке планируемых бизнес-стратегий строительной организации.

На практике обычно проводятся работы по уменьшению риска, и разрабатывается или реализуется план антирисковых мероприятий. При разработке бизнес-планов рекомендуется проводить работы по уменьшению рисков даже на первичной стадии проектирования инвестиционно-строительных проектов, что позволит снизить негативные последствия при наступлении рисков событий в дальнейшем. В строительных организациях, внедривших на производстве практику управления рисками, проводится специальная разработка мероприятий по уменьшению вероятности проявления рисков и работ по ограничению последствий неблагоприятных событий при таком проявлении риска. Большинство строительных организаций проводят работу по распределению риска между всеми участниками инвестиционно-строительного проекта. Благодаря анализу и оценке возникновения риска методом последовательной балльной сортировки уже на стадии разработки бизнес-плана проекта снижается степень воздействия риска на конечные результаты.

#### Список литературы

1. Абрамов, С.И. Управление рисками в строительстве / С.И. Абрамов, О.В. Михненко. – М.: ГУУ, 2008.
2. Грабовый, П.Г. Управление рисками в недвижимости / П.Г. Грабовый, В.Я. Осташко, Л.Н. Чернышов. – М.: Реалпроект, 2005.

#### Rerefences

1. Abramov, S. Risk-management in construction / S. Abramov, O. Mihnenkov. – М.: SUM, 2008.
2. Grabovy, P. Risk-management in real estate / P. Grabovy, V. Ostashko, L. Chernyshov. – М.: Realproject, 2005.

# ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

## PROFESSIONAL TRAINING IN A TECHNICAL HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT

УДК 303.732

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Данилов Александр Максимович**,  
доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, зав. кафедрой  
«Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Гарькина Ирина Александровна**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Математика и математическое  
моделирование».  
E-mail: fmatem@pguas.ru

Penza State University of Architecture  
and Construction  
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Danilov Alexander Maksimovich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and  
Construction Sciences, Head of the department  
«Mathematics and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna**,  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Mathematics  
and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

### НАУЧНАЯ СТАТЬЯ С ПОЗИЦИЙ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Исходя из современных требований ВАК к диссертационным исследованиям, с позиций системного анализа определяется линейная структура научной статьи в журнале. Дается подробное описание каждого из основных ее элементов, что позволяет рассматривать предлагаемую работу как методические рекомендации для авторов.

*Ключевые слова:* научная статья, системный анализ, линейная структура, элементы статьи, правила оформления

### SCIENTIFIC ARTICLES FROM POSITIONS OF SYSTEM ANALYSIS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

From the standpoint of system analysis and current requirements of Higher Attestation Commission of the Ministry of Education of the Russian Federation to dissertation research, the linear structure of a scientific article in the journal is determined. A detailed description of each of its main elements is given, which allows us to consider the article as a guideline for authors.

*Keywords:* scientific article, system analysis, linear structure, article elements, design rules

Системный стиль мышления является методологической основой при решении проблем большинства отраслей наук. Исходя из этого, в качестве основных структурных частей (подсистемы) *научно-технической* статьи (системы) в периодических изданиях выбирается линейная структура (совокупность связей и отношений между частями целого, необходимых для достижения цели):

- УДК (UDC);
- аннотация (abstract);
- ключевые слова (key words);
- введение (introduction);
- методология (methodology);
- методики и аппаратура (techniques and equipment);
- результаты (results);
- обсуждение результатов (discussion);
- вывод (conclusion);
- резюме (summary);
- ссылки на источники (references);
- приложения (appendix).

В известной мере статья синтезируется как система (элементы – буквы, слова, словосочетания, предложения; заголовок, аннотация, ключевые слова, введение и т.д.) под заданные цели. *Цель* («зачем?») состоит в определении с точки зрения рассматриваемой проблемы такого состояния системы, которое позволяет решать проблему при заданных ресурсах, то есть представление некоторого наиболее предпочтительного состояния системы. В качестве *интегративного свойства* могут рассматриваться цель, эмерджентные свойства, функциональность системы и др. Главным свойством системы является *целостность* (единство; каждый элемент системы вносит вклад в реализацию целевой функции системы), достигаемая посредством определенных взаимосвязей и взаимодействий структурных элементов системы и проявляющаяся в возникновении новых свойств, которыми элементы системы не обладают. Единство (в том числе отдельных разделов статьи) проявляется в том, что система обладает собственной закономерностью функциональности, собственной целью. В тексте статьи *не должно быть лишних слов, «висячих» предложений и т.д. Каждое последующее предложение предполагается следствием предыдущего.* При лаконичном изложении материала целесообразна структуризация даже отдельных предложений.

Статья как когнитивная система должна обеспечить получение, проверку, фиксацию (хранение), актуализацию знаний в данной области. Любое знание существует лишь в форме систем (систематизированное знание), а теория – наиболее развитая система (позволяет не только описывать, но и объяснять, прогнозировать события, процессы). Поэтому необходимыми атрибутами статьи как *элемента научного знания* являются:

- наличие *предмета исследования* («что?»);
- выявление, систематизация, описание свойств и атрибутов процессов и систем;
- выявление и описание закономерностей в процессах и системах;
- актуализация закономерностей для изучения процессов и систем, их поведения и связей с окружающей средой.

Последовательность изложения статьи должна быть направлена на быстрое достижение поставленной цели («как?»). Как правило, для этого требуется решение ряда задач (описание возможных стратегий достижения этой цели или возможных промежуточных состояний исследуемого объекта) при заданных ресурсах с указанием путей достижения цели при исходных посылах. Здесь должны быть указаны причинно-следственные связи в объекте исследования на уровне когнитивного моделирования (гипотезы о функционировании исследуемой системы, методы и модели формирования знания, познания, универсальных структурных схем мышления) и структуризации (структурные схемы причинно-следственных связей, их количественной оценки).

Таким образом, независимо от цели статья как предмет системного анализа должна содержать:

- определение целей и их приоритетов;
- формулировку проблем исследования с учетом целостности (связей) подсистем и их элементов;
- ресурсы для исследований;
- анализ взаимосвязей подсистем;
- согласование целей системы с целями подсистем.

В статье должен содержаться ответ на вопрос «зачем?» (недостатки предыдущих исследований, описание возможных улучшений и т.д.). Все это фактически является *постановкой задачи* в статье.

Ответ на каждый из вопросов «что?», «зачем?», «как?» может быть предметом самостоятельных исследований (в том числе основным содержанием диссертации):

- что? – если ранее аналогичный предмет не исследовался;
- зачем? – если предлагается усовершенствованный вариант;
- как? – если предлагается новый метод или методика.

Исходя из предыдущего, рассмотрим отдельные элементы (подсистемы) статьи (системы).

**УДК** определяет совокупность знаний, построенных по иерархическому принципу деления от общего к частному с использованием цифрового десятичного кода. В частности, по универсальной десятичной классификации УДК статей должны быть следующими:

- УДК 691 – по специальности 05.23.05 – Строительные материалы и изделия;
- УДК 624.01 – по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции;
- УДК 624; 69; 72 – в целом по разделу «67. Строительство. Архитектура»

Государственного рубрикатора научно-технической информации (при защите диссертаций по специальностям 05.23.00; 18.00.00).

Как видим, установлена согласованность УДК и специальности по номенклатуре, по которой предполагается защита диссертации.

**Заголовок** статьи должен отражать главную идею и решение поставленной проблемы в одной фразе. Он должен быть **максимально привлекательным и информативным** (особенно для статей в блоге или на сайте, где большая часть текста статей скрыта; именно по заголовку читатель ориентируется, остаться ему на данном ресурсе или нет).

При переводе заглавия статьи на английский язык не допускается использование транслитераций, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и объектов и т.д., а также непереводаемого сленга на русском языке.

**Ключевые слова** служат для упорядочения массива информации на основе координатного индексирования словарных единиц в виде слов, словосочетаний или кодов и повышения читательского интереса к статье. В качестве ключевых слов могут использоваться определенные слова и словосочетания из текста, отражающие характер конкретной статьи, по которым можно вести ее оценку и поиск. Они являются *поисковым образом (подсказками)* для поиска статьи в поисковых системах и раскрывают тематическую направленность статьи в определенной рубрике журнала. Правильно подобранный набор ключевых слов дает возможность пользователю ускорить поиск статьи по базе данных. Используемые ключевые слова позволяют оценить *похожесть статей*: чем большее количество ключевых слов совпадает, тем более они похожи.

Большинством издателей составление набора ключевых слов принято считать обязанностью автора; при этом донесение информации до круга читателей является задачей журнала (в коммерческих изданиях доход напрямую зависит от количества читателей).

При составлении набора *ключевых слов* должны использоваться *термины из названия, аннотации, введения и заключения статьи*.

В зависимости от объема текста *рекомендуемое число ключевых слов не должно превышать 15, но их не должно быть меньше 5*. Каждое дополнительное ключевое слово должно повышать эффективность отражения характера отдельной статьи.

Очевидна целесообразность использования *иерархического принципа в последовательности расположения ключевых слов и словосочетаний*. Первым должно располагаться ключевое слово, определяющее *предмет исследования*, к которому последовательно добавляются *базовые ключевые слова*. Например, в статье «Цементные композиции для высокопрочных бетонов» можно использовать следующие ключевые слова и располагать их в предлагаемой последовательности: цементные композиции, высокопрочный бетон, микрокремнезем, суперпластификатор, предел прочности. Для привлечения к статье большего числа читателей рекомендуется использовать и синонимы. Не рекомендуется использовать словосочетания из более, чем трех слов (их следует разбить на несколько ключевых слов).

В ключевых словах *не допускаются кавычки*, в том числе в словах, относящихся к названию организации (Ключ здоровья, но не «Ключ здоровья»; Спецстрой, а не «Спецстрой» и др.). Отделяться друг от друга ключевые слова должны *запятыми* (в поисковой системе слово с запятой может разбиваться на несколько частей, бессмысленных и неэффективных для поиска). Например, вместо: «факторы, определяющие качество» следует использовать: «критерий качества, зависимость от факторов». Следует использовать основную форму слова (*единственное число, именительный падеж*) за исключением, когда в основной форме они не используются (например: добавки, виды добавок). *Первое ключевое слово нельзя писать с заглавной буквы* (такое слово будет учитываться как самостоятельное). *Нельзя ставить точку в конце списка* ключевых слов (во избежание её добавления к последнему слову и потери поисковой эффективности).

**Аннотация** имеет большую *детализацию*, чем ключевые слова. Содержит характеристику основной темы (проблемы, объекта), цель работы, методы исследований, результаты и их новизну. Составление аннотации упрощается, если воспользоваться формулой «что? → зачем? → как? → результаты». Особенно это важно для соискателей ученых степеней. Ответы на указанные вопросы должны формулироваться в соответствии с паспортом специальности. Известно, соискатель степени кандидата наук должен иметь не менее трех публикаций (10 – для докторов) в журналах из «Перечня ВАК...», каждая из которых должна содержать элемент новизны. Новизна, как уже отмечалось, может относиться к каждому из элементов указанной формулы, например к предмету исследований (ответ на вопрос «что?»), если он мало изучен. Ответ на вопрос «зачем?» связан либо с отсутствием исследований, либо с необходимостью получения новых данных и т.д. Новые методы и методики являются ответами на вопрос «как?». Естественно, результаты должны быть новыми. Отметим, темой диссертации может предусматриваться ответ лишь на каждый из вопросов в отдельности. Новизна подчеркивает, что нового содержит статья по сравнению с другими документами, родственными по тематике и целевому назначению. Аннотация определяет основное содержание статьи и устраняет необходимость ознакомления с ее полным текстом при наличии лишь второстепенного интереса читателя. Целесообразно указывать аудиторию, для которой полученные в статье результаты имеют наибольший интерес. Обычно средний объем аннотации составляет до 500 печатных знаков.

**Во введении** указываются общая тема, цель и объект исследования, а также проблемы, которые призвана решить данная статья, не решенные в предыдущих исследованиях: обзор исследований других авторов; анализ противоречий и определение недостаточно изученных аспектов проблемы; обобщение основных точек зрения. Показываются актуальность темы, степень ее важности для решения значимых научно-практических задач. Определяются исходные гипотезы и способы их проверки; прогнозируются результаты. Определяется теоретическая и практическая значимость работы. Указывается новизна (отличие от результатов, полученных другими авторами).

**Основная часть.** Ее цель заключается в том, чтобы при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных обосновать рабочие гипотезы. Она занимает центральное место в научной статье и включает само исследование, его результаты и практические рекомендации.

**Методология.** Здесь указывается последовательность и особенность выполнения исследования и обосновывается выбор используемых методов. Приводится информация о плане исследования с возможностью его воспроизведения по этому описанию другим исследователем.

**Методики и аппаратура.** Здесь указываются стадии и этапы экспериментов, методика получения промежуточных и общих результатов. Приводятся конкретные модели используемой аппаратуры. При использовании уникальной аппаратуры или методики они описываются детально (стандартная техника и стандартизированные методики в подробном описании не нуждаются).

**Результаты.** Анализируются результаты работы (в наглядной форме: таблицы, графики, диаграммы; формулы, уравнения, рисунки, фотографии и таблицы должны иметь подписи или заголовки; проиллюстрированная информация не должна дублировать текст) и приводится их физическое объяснение. Непременно должны быть указаны эксперименты с отрицательным результатом (особенно в области технологии; могут оказаться поучительнее экспериментов с положительным исходом). В работе, посвященной экспериментальным (практическим) исследованиям, автор обязан описать методику экспериментов, оценить точность и воспроизводимость полученных результатов, чтобы исключить сомнение в достоверности представленных результатов. Для возможности объективной оценки новизны результатов целесообразно сопоставить их с уже известными.

**Обсуждение результатов.** Следует указать перспективы использования полученных результатов, в том числе при дальнейших экспериментальных исследованиях в этой области.

**Выводы** могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Здесь *по пунктам* перечисляются конкретные результаты исследования (*формулировки должны отличаться от приведенных ранее в основной части статьи*). Дается сопоставление полученных результатов с указанной в начале работы целью.

**Резюме.** Здесь дается краткое изложение материала статьи, обычно *превышающее аннотацию* по объему; определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. *Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте резюме.*

**Ссылки на источники.** Указываются по мере появления сносок в соответствии с существующими требованиями конкретных периодических изданий. Должен прилагаться перевод ссылок на английский язык (в некоторых журналах – транслитерация).

**Приложения.** Оформляются лишь при необходимости: статистические таблицы, не вошедшие в основной текст статьи; обсуждаемые в статье новые или доработанные методики и т.д.

Приведенные рекомендации по написанию и оформлению научных статей являются обобщением правил для авторов ряда известных отечественных и зарубежных журналов, а также результатом многолетней редакторской работы в рецензируемых журналах, в том числе входящих в «Перечень ВАК...».

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Гринцов Дмитрий Михайлович,**  
студент

**Гринцова Ольга Васильевна,**  
кандидат филологических наук, доцент,  
заведующая кафедрой «Иностранные  
языки»  
E-mail: english@pguas.ru

**Солманидина Наталья Викторовна,**  
кандидат философских наук, доцент  
кафедры «Иностранные языки»  
E-mail: solomona@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*  
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Grintsov Dmitry Mikhailovich,**  
Student

**Grintsova Olga Vasilyevna,**  
Candidate of Philology, Associate Professor,  
Head of the Foreign Languages department  
E-mail: english@pguas.ru

**Solmanidina Natalia Victorovna,**  
Candidate of Philosophy, Associate professor  
of the Foreign Languages department  
E-mail: solomona@mail.ru

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ КВАЛИФИКАЦИЯ ПЕРЕВОДЧИКА В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Д.М. Гринцов, О.В. Гринцова, Н.В. Солманидина

Рассматриваются особенности получения дополнительной квалификации переводчика в сфере профессиональной коммуникации студентами технических специальностей вузов. Обобщается опыт десятилетней работы на кафедре иностранных языков по подготовке специалистов данной квалификации.

*Ключевые слова: дополнительная квалификация, переводчик, технический университет, профессиональная коммуникация, переводческая компетенция, перевод*

## ADDITIONAL QUALIFICATION OF A TRANSLATOR IN TECHNICAL UNIVERSITY

D.M. Grintsov, O.V. Grintsova, N.V. Solmanidina

The peculiarities of getting additional qualification of a translator in the sphere of professional communication for students of technical universities is considered. Results of ten years' work of the foreign languages department on the given qualification are generalized.

*Keywords: additional qualification, translator, technical university, professional communication, translating competence, translating*

Дополнительная квалификация «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» вызвана потребностями современного общества, а выпускники, получившие соответствующий диплом, востребованы на рынке труда во многих узкоспециальных областях. Введение данной квалификации направлено на подготовку специалистов, обладающих помимо глубоких профессиональных знаний в определенной области еще и переводческой компетенцией, позволяющей выполнять письменный перевод в этой области. При этом диплом о дополнительной квалификации вручается при условии законченного основного высшего образования. Впервые кафедры иностранных языков технических неязыковых вузов получили возможность реализации столь масштабной задачи организации лингвистического образования. Разработка и внедрение в учебный процесс новой дополнительной образовательной программы поставили целый ряд серьезных теоретических проблем. Часть из них уже решена. Это потребовало направленной работы кафедр иностранных языков. Энтузиазм преподавателей был вызван в значительной степени тем интересом, который проявляют к этой программе студенты, и их успехами. Необходимость подготовки специалистов, обладающих дополнительной квалификацией переводчика, ведет к дальнейшему совершенствованию учебно-методического обеспечения процесса обучения.

Перевод как вид человеческой деятельности был вызван общественными потребностями и сыграл значимую роль в становлении нашей цивилизации. Однако только в XX веке профессия переводчика стала широко распространенной. Этому способствовали как информационный взрыв и развитие мировой торговли, так и создание после окончания Второй мировой войны многочисленных международных организаций.

Задача подготовки большого количества переводчиков на открывавшихся во второй половине прошлого столетия факультетах иностранных языков поставила целый ряд теоретических и практических вопросов. Необходимость их решения стимулировала проведение исследования перевода как вида человеческой деятельности, что привело к развитию новой научной дисциплины – переводоведения, а также методики преподавания перевода. Однако основное внимание было уделено обучению устному переводу, а письменный перевод научных и научно-технических текстов оставался до последнего времени наименее исследованным; при этом можно отметить недостаточную разработанность методики обучения письменному переводу.

Начавшаяся в 90-е годы XX века интеграция России в мировую политическую и экономическую систему, установление международных связей в самых различных отраслях знаний и производства привели к большой потребности в переводчиках научных и научно-технических текстов. Следствием этого стало появление Приказа Министерства образования России № 1435 о присвоении дополнительной квалификации «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации».

Данная программа вызвала большой интерес со стороны студентов, магистрантов, аспирантов и выпускников технических вузов, которые понимают, что знание одного или нескольких иностранных языков является одним из важных требований работодателей. За период с 1997 года по настоящее время свыше ста вузов, пройдя экспертизу УМО по образованию в области лингвистики, обратились за разрешением на ее реализацию, свыше пятидесяти вузов реализуют ее более десяти лет.

Одним из учебных заведений, успешно осуществляющим данное обучение, является Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, опыт которого мы и рассмотрим в данной статье.

Реализация дополнительной образовательной программы в течение десяти лет позволяет подвести некоторые итоги и обозначить еще не решенные проблемы.

Несмотря на активную позицию неязыковых вузов, на протяжении этих лет время от времени выражались сомнения в необходимости и возможности реализации данной программы в этом типе учебных заведений. Десятилетний опыт работы по этой программе в ПГУАС позволяет с большой долей уверенности ответить на этот вопрос утвердительно.

Прежде всего, проведенный на кафедре обзор переводимой научной и научно-технической литературы показал, что 85 % текстов составляют так называемые информативные, или прагматические, тексты. На основе переводимой информации принимаются важные решения в сфере науки, техники, торговли, бизнеса и производства. При этом стремительное развитие техники и технологий выдвигает целый ряд требований к переводчику, одним из которых является владение предметом, т.е. серьезные профессиональные знания в конкретной области. Роль посредника в двуязычной коммуникации может быть выполнена выпускником технического вуза, получившим дополнительную квалификацию «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации».

О своевременности введения дополнительной квалификации переводчика свидетельствует востребованность подобных специалистов на рынке труда. Так, среди получивших дополнительную квалификацию в стенах ПГУАС приблизительно 60 % выпускников после трудоустройства используют приобретенные переводческие навыки и умения. Остальные стремятся выполнять письменные переводы на договорной основе. При этом наличие дополнительной квалификации повышает рейтинг выпускников на рынке труда в условиях конкуренции. Беседы с работодателями в строительном комплексе показывают, что при необходимости выполнения переводов в узкопрофессиональной сфере они отдают предпочтение выпускникам технических вузов, обладающим соответствующей переводческой компетенцией, перед выпускниками филологических факультетов. Эти факторы делают учебу по дополнительной образовательной программе привлекательной для студентов. Об этом свидетельствуют

данные о количестве поданных заявлений на эту форму обучения в разные годы в ПГУАС. С 2004 г. количество студентов, обучающихся по данной квалификации, в среднем составляет сто человек в год.

Целый ряд факторов определяет возможность организации программы в технических вузах. Прежде всего, конечная цель обучения, ограниченная письменным переводом с иностранного языка на родной в профессиональной деятельности, позволяет достичь ее в сжатые сроки, характерные для дополнительного образования.

Несмотря на то, что впервые перевод становится целью обучения, неязыковые вузы обладают богатым опытом использования перевода в качестве средства обучения в базовом и аспирантском курсе, при подготовке референтов. При отсутствии специализированной подготовки преподавателей перевода в педагогических вузах преподаватели кафедр иностранных языков, сочетающие педагогическую и переводческую деятельность, а также преподаватели, занятые лингвистическими исследованиями, составляют основу кадрового обеспечения данной программы.

В то же время, естественно, необходимость организации подготовки слушателей по новой квалификации поставила целый ряд серьезных проблем, которые требовали решения. В результате проделанной работы можно говорить о некоторых итогах.

Прежде всего, УМО по образованию в области лингвистики был обозначен минимум содержания образования, который определил общую трудоемкость курса, основные циклы дисциплин как общеобразовательных лингвистических, так и дисциплин специального блока. Практика преподавания и результаты обучения показывают, что отбор содержания обеспечивает достижение поставленной цели и может быть реализован в указанный период времени. Другими словами, реализация данной программы опирается на своевременно разработанный государственный стандарт.

Требования к обучению были конкретизированы в разработанной по инициативе Министерства образования программе по подготовке переводчиков. Эти документы позволили кафедре иностранных языков ПГУАС подготовить пакет рабочих программ для методического обеспечения учебного процесса.

В последние годы развивалась и совершенствовалась методика подготовки переводчиков в сфере профессиональной коммуникации. Можно говорить о том, что сложилось как минимум два подхода к организации обучения. В соответствии с первым подходом дополнительная программа предполагает формирование исключительно переводческой компетенции без учета узкой специализации у студентов, уже свободно владеющих иностранным языком. Этот подход возможен в условиях университетского образования при достижении студентами высокого уровня владения иностранным языком к концу образовательного профессионально ориентированного курса обучения иностранному языку.

Вторая модель подготовки, получившая распространение в ПГУАС, помимо формирования переводческой компетенции с учетом узкой специализации, предусматривает также и дальнейшее совершенствование владения иностранным языком. Модель, которая может быть названа интегрированной, включает два этапа: общий и профессиональный. На первом этапе преподаются общие лингвистические дисциплины и практический курс иностранного языка, на втором этапе – теоретические и практические дисциплины, связанные с переводом.

В рамках осуществляемого в ПГУАС подхода данное дополнительное образование осуществляется как параллельное основному высшему.

На начальном этапе становление дополнительной квалификации существенно осложнялось недостатком научной и учебной литературы. Однако необходимость решения возникающих проблем привела к проведению научных исследований в области подготовки переводчиков и публикации целого ряда книг, что является важным не только для методики обучения переводу, но и для методики обучения иностранным языкам в целом.

Для подготовки кадров большое значение имело то, что в ведущих вузах страны и учебных центрах были разработаны программы краткосрочных курсов повышения квалификации преподавателей по проблемам обучения переводу.

Преподавателями кафедры были разработаны формы обучения чтению теоретических циклов, сочетающие признаки лекции и семинарского занятия, в большей степени учитывающие особенности контингента обучаемых, которые не имеют филоло-

гического образования. Ведется серьезная работа по установлению межпредметных связей на уровне общегуманитарных дисциплин. Налажена связь со специализированными техническими кафедрами по переводу технической литературы.

Преподавателями кафедры иностранных языков определено содержание итогового государственного экзамена, позволяющее проверить не только уровень сформированной переводческой компетенции, но и уровень владения иностранным языком, необходимый для осуществления профессиональной деятельности специалиста.

На кафедре иностранных языков, осуществляющей подготовку по дополнительной квалификации «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации», были разработаны документы, обеспечивающие нормативную базу обучения, например положения о приеме, учебные планы, технологические карты и др.

Дальнейшее совершенствование подготовки переводчиков письменных научно-технических текстов требует решения еще очень многих проблем. Чрезвычайно важным представляются: развитие методики обучения переводу с учетом сложившегося авторитарно-творческого метода, подготовка современных учебных материалов, ориентированных на определенную сферу профессиональной деятельности, разработка критериев оценки письменных переводов, определение актуальных для конкретных специалистов видов языкового посредничества и др. Однако не вызывает сомнений, что необходимость их решения, обусловленная задачами подготовки переводчиков, приведет к творческому поиску и созданию учебно-методического обеспечения, отвечающего современным требованиям.

#### Список литературы

1. Бретшнайдер, Д. Письменный перевод с немецкого на русский в сфере профессиональной коммуникации / Д. Бретшнайдер. – М.: АСТ-Пресс, 2009.
2. Алимов, В.В. Теория перевода. Перевод в сфере профессиональной коммуникации / В.В. Алимов. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 160 с.
3. Гавриленко, Н.Н. Теория и методика обучения переводу в сфере профессиональной коммуникации. Кн. 1 / Н.Н. Гавриленко. – М.: Научно-техническое общество имени академика С. И. Вавилова, 2009. – 178 с.
4. Гавриленко, Н.Н. Обучение переводу в сфере профессиональной коммуникации / Н.Н. Гавриленко. – М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2008. – 176 с.
5. Гавриленко, Н.Н. Понять, чтобы перевести. Перевод в сфере профессиональной коммуникации. Кн.2 / Н.Н. Гавриленко. – М.: Научно-техническое общество имени академика С. И. Вавилова, 2010. – 206 с.
6. Муеницкая, Е.В. Программа подготовки переводчика в сфере профессиональной коммуникации (для вузов неязыковых специальностей) / Е.В. Муеницкая [и др.]. – М., 1999.

#### References

1. Bretshnayder, D. Translation from German into Russian in the sphere of professional communication / D. Bretshnayder. – М.: ACT Press, 2009.
2. Alimov, V.V. Theory of the translation. The translation in the sphere of professional communication / V.V. Alimov. – М.: Editorial of URSS, 2005. – 160 p.
3. Gavrilenko, N.N. Theory and technique of training in the translation in the sphere of professional communication. Book 1 / N.N. Gavrilenko. – М.: Scientific and technical society named after Academician S. I. Vavilov, 2009. – 178 p.
4. Gavrilenko, N.N. Training of the translation in the sphere of professional communication / N.N. Gavrilenko. — М.: Publishing house of the Russian University of friendship of the peoples, 2008. – 176 p.
5. Gavrilenko, N.N. Understand to translate. The translation in the sphere of professional communication. Book 2 / N.N. Gavrilenko. — М.: Scientific and technical society named after Academician S. I. Vavilov, 2010. – 206 p.
6. Muyenitskaya, E.V. Training program of the translator in the sphere of professional communication (For higher education institutions of not language specialties) / E.V. Muyenitskaya [etc.]. – М., 1999.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Данилов Александр Максимович,**  
доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, зав. кафедрой  
«Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Гарькина Ирина Александровна,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Математика и математическое  
моделирование».  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Гарькин Игорь Николаевич,**  
аспирант  
E-mail: igor\_garkin@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Danilov Alexander Maksimovich,**  
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and  
Construction Sciences, Head of the department  
«Mathematics and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna,**  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Mathematics  
and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Garkin Igor Nikolaevich,**  
Postgraduate  
E-mail: igor\_garkin@mail.ru

## ПОДГОТОВКА БАКАЛАВРОВ: КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД, МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин

Рассматривается формирование общепрофессиональных компетенций, предусмотренных ФГОС 3+ для прикладного бакалавриата по направлению 08.03.01 – Строительство, на основе междисциплинарных связей и при непрерывности математической подготовки.

*Ключевые слова: строительство, прикладной бакалавр, общепрофессиональные компетенции, компетентностный подход, междисциплинарные связи*

## BACHELORS TRAINING: COMPETENCE APPROACH, INTERDISCIPLINARITY

A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin

The formation of general competencies, envisaged GEF 3 + for applied baccalaureate (08.03.01 – Construction), on the basis of interdisciplinary connections and continuity of mathematical training.

*Keywords: construction, applied bachelor, general professional competence, competence approach, interdisciplinary connections*

Учитывая, что современной производственной сфере требуется не квалификация (функциональное соответствие между требованиями к рабочему месту и целями образования), а компетентность (сочетание квалификации, социального поведения, способности работать в коллективе, инициативности и др.), произошла резкая переориентация оценки результатов образования. Необходимы всесторонняя подготовка и воспитание обучающегося как в качестве профессионала, так и личности (передача студенту совокупности знаний, умений и навыков в определённой сфере, развитие кругозора, междисциплинарного чутья, способности к самообучению и формированию гуманистических ценностей). Предлагаемый при подготовке бакалавров компетентностный подход потребует построения учебного процесса, исходя из результата образования. В учебной программе должны предусматриваться отчётливые и сопоставимые параметры описания того, что студент будет знать и уметь в конце обучения.

Для определенности рассмотрим формирование общепрофессиональных компетенций по программе бакалавриата с присвоением квалификации «прикладной бакалавр» (направление 08.03.01 – Строительство; профили – «Промышленное и гражданское строительство», «Городское строительство», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Водоснабжение и водоотведение»). Междисциплинарность при компетентностном подходе к процессу непрерывной математической подготовки иллюстрируется табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Содержание компетенций и соответствующие дисциплины

№	Содержание компетенций	Дисциплины (модули)
1	2	3
ОПК-1	Использование основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<p><b>Б1.Б – Базовая часть</b></p> <p><b>Б1.Б.2 – Общепрофессиональный модуль</b>  <i>Б1.Б.2.1 Математика</i>  Б1.Б.2.2 Инженерная графика  Б1.Б.2.3. Информатика  Б1.Б.2.4 Компьютерная графика  Б1.Б.2.5 Химия  Б1.Б.2.6 Физика</p> <p><b>Б1.Б.3 – Профессиональный модуль</b>  Б1.Б.3.6 Строительные материалы  Б1.Б.3.7 Сопротивление материалов  Б1.Б.3.8 Теоретическая механика  Б1.Б.3.9 Техническая механика  Б1.Б.3.10 Механика грунтов</p> <p><b>Б1.В – Вариативная часть</b></p> <p><b>Б1.В.ОД – Обязательные дисциплины</b>  Б1.В.ОД.1 Основы механики жидкости и газа  Б1.В.ОД.7 История отрасли и введение в профессию  Б1.В.ОД.8 Строительная физика  Б1.В.ОД.9 Основы расчета строительных конструкций</p> <p><b>Б1.В.ДВ – Дисциплины по выбору</b>  Б1.В.ДВ.1.3 Теплотехника  Б1.В.ДВ.2.3 Энергосберегающие технологии в системах теплогазоснабжения и вентиляции  Б1.В.ДВ.6.2 Физико-технические основы проектирования, строительство и эксплуатация зданий  Б1.В.ДВ.7.3 Металловедение и сварка  Б1.В.ДВ.8.2 Строительная теплофизика  Б1.В.ДВ.9.1 Строительная механика  Б1.В.ДВ.9.2 Теоретические основы создания микроклимата</p> <p><b>ФТД – Факультативы</b>  ФТД.1 Практикум по физике  ФТД.2 Практикум по сопротивлению материалов</p>
ОПК-2	Способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующих физико-математический аппарат	<p><b>Б1.Б – Базовая часть</b></p> <p><b>Б1.Б.2 – Общепрофессиональный модуль</b>  <i>Б1.Б.2.1 Математика</i>  Б1.Б.2.2 Инженерная графика  Б1.Б.2.3. Информатика  Б1.Б.2.4 Компьютерная графика  Б1.Б.2.5 Химия  Б1.Б.2.6 Физика</p> <p><b>Б1.Б.3 – Профессиональный модуль</b></p>

1	2	3
		<p>Б1.Б.3.6 Строительные материалы                      Б1.Б.3.7 Сопротивление материалов                      Б1.Б.3.8 Теоретическая механика                      Б1.Б.3.9 Техническая механика                      Б1.Б.3.10 Механика грунтов</p> <p><b>Б1.В – Вариативная часть</b></p> <p><b>Б1.В.ОД – Обязательные дисциплины</b>                      Б1.В.ОД.1 Основы механики жидкости и газа                      Б1.В.ОД.7 История отрасли и введение в профессию                      Б1.В.ОД.8 Строительная физика                      Б1.В.ОД.9 Основы расчета строительных конструкций</p> <p><b>Б1.В.ДВ – Дисциплины по выбору</b>                      Б1.В.ДВ.1.3 Теплотехника                      Б1.В.ДВ.2.3 Энергосберегающие технологии в системах теплогасоснабжения и вентиляции                      Б1.В.ДВ.3.3 Кондиционирование воздуха                      Б1.В.ДВ.4.4 Автоматизация систем теплоснабжения и вентиляции                      Б1.В.ДВ.5.3 Технология и организация монтажа систем теплоснабжения и вентиляции                      Б1.В.ДВ.6.3 Насосы, вентиляторы и компрессоры                      Б1.В.ДВ.7.3 Металловедение и сварка                      Б1.В.ДВ.8.2 Строительная теплофизика                      Б1.В.ДВ.9.1 Строительная механика                      Б1.В.ДВ.9.2 Теоретические основы создания микроклимата                      Б1.В.ДВ.10.3 Отопление                      Б1.В.ДВ.11.3 Централизованное теплоснабжение                      Б1.В.ДВ.12.3 Газоснабжение                      Б1.В.ДВ.13.2 Автономное теплоснабжение зданий и сооружений                      Б1.В.ДВ.14.3 Вентиляция</p> <p><b>ФТД – Факультативы</b>                      ФТД.1 Практикум по физике                      ФТД.2 Практикум по сопротивлению материалов</p>
ОПК-4	Владение эффективными правилами, методами и средствами сбора, обмена, хранения и обработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией	<p><b>Б1.Б – Базовая часть</b></p> <p><b>Б1.Б.2 – Общепрофессиональный модуль</b>                      Б1.Б.2.1 Математика                      Б1.Б.2.2 Инженерная графика                      Б1.Б.2.3. Информатика                      Б1.Б.2.4 Компьютерная графика                      Б1.Б.2.5 Химия                      Б1.Б.2.6 Физика</p> <p><b>Б1.Б.3 – Профессиональный модуль</b>                      Б1.Б.3.12 Экономика                      Б1.Б.3.17 Основы метрологии, стандартизации, сертификации, контроля качества</p> <p><b>Б1.В – Вариативная часть</b></p> <p><b>Б1.В.ОД – Обязательные дисциплины</b>                      Б1.В.ОД.7 История отрасли и введение в профессию</p> <p><b>Б1.В.ДВ – Дисциплины по выбору</b>                      Б1.В.ДВ.2.1 Сметное дело и ценообразование в строительстве</p>

1	2	3
ОПК-6	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	<p align="center"><b>Б1.Б – Базовая часть</b></p> <p><b>Б1.Б.2 – Общепрофессиональный модуль</b>  <i>Б1.Б.2.1 Математика</i>  Б1.Б.2.3. Информатика</p> <p align="center"><b>Б1.В – Вариативная часть</b></p> <p align="center"><b>Б1.В.ОД – Обязательные дисциплины</b>  Б1.В.ОД.7 История отрасли и введение в профессию  Б1.В.ОД.9 Основы расчета строительных конструкций</p> <p align="center"><b>Б1.В.ДВ – Дисциплины по выбору</b>  Б1.В.ДВ.2.1 Сметное дело и ценообразование в строительстве  Б1.В.ДВ.3.3 Кондиционирование воздуха  Б1.В.ДВ.6.3 Насосы, вентиляторы и компрессоры  Б1.В.ДВ.10.3 Отопление  Б1.В.ДВ.11.3 Централизованное теплоснабжение  Б1.В.ДВ.12.3 Газоснабжение  Б1.В.ДВ.13.2 Автономное теплоснабжение зданий и сооружений  Б1.В.ДВ.14.3 Вентиляция</p>

Для наглядности приведем ряд примеров, иллюстрирующих использование математики и математического моделирования для решения прикладных профессиональных задач [1, 2] с учетом междисциплинарных связей и непосредственно формирующих компетенции ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, ОПК-6 (задачи предусматриваются рабочим учебным планом подготовки бакалавров).

1. Имеются три площадки для размещения головных предприятий для забора: 1, 2 – подземных, 3 – поверхностных вод. Разместить головные водопроводные сооружения для подачи воды трём потребителям с заданными расходами:  $G_1 = 30000$ ,  $G_2 = 20000$ ,  $G_3 = 40000$  м<sup>3</sup>/сутки. Максимальные производительности водозаборов для первых двух площадок не должны превышать 20000 м<sup>3</sup>/сутки. Стоимость водозаборных сооружений для поверхностных вод (водозабор, очистные сооружения)  $d_3 = 37$  тыс.руб./м<sup>3</sup>; стоимость водозаборных сооружений для забора подземных вод  $d_1 = d_2 = 50$  тыс. руб./м<sup>3</sup>. Расстояния  $l_{ij}$  между потребителями и площадками для водозаборных сооружений приведены на рис. 1. Определить оптимальные производительности  $x_1, x_2, x_3$  водозаборов и транспортируемое из пункта  $P_j$  в пункт  $P_i$  количество воды  $x_{ij}$ , обеспечивающие наименьшую стоимость сооружений, если подача 1 м<sup>3</sup> на 1 км обходится:  $a_1 = 25$  тыс.руб. – с первой площадки;  $a_2 = 20$  тыс.руб. – со второй площадки;  $a_3 = 10$  тыс.руб. – с третьей площадки.

Таким образом, целью решения является минимизация целевой функции

$$f = \sum_{j=1}^3 d_j x_j + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_j x_i l_{ij};$$

$$\sum_{j=1}^3 x_{ij} = G_i, \quad \sum_i x_{ij} = x_j, \quad x_{ij} \geq 0, \quad x_k \leq 20000, \quad k = 1, 2.$$

Получили типичную задачу линейного программирования.

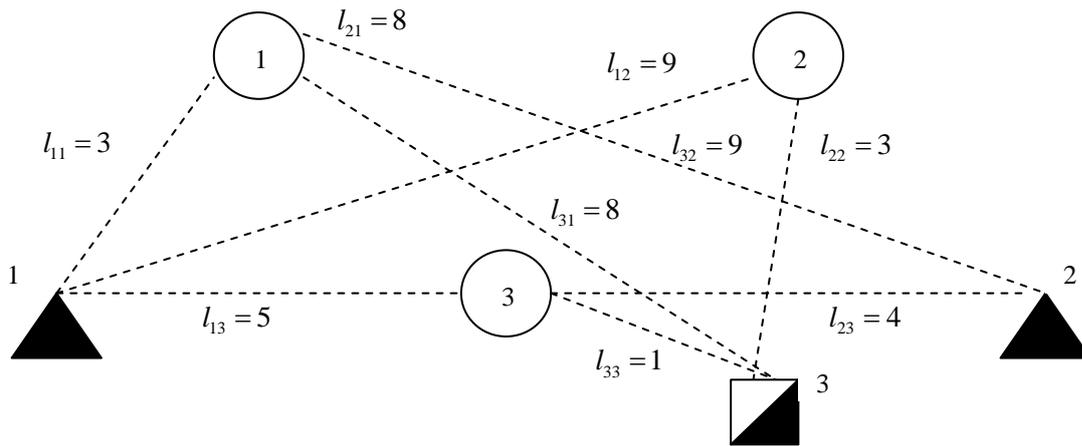


Рис.1. Расстояния между потребителями и площадками для водозаборных сооружений

2. Узел управления системами отопления состоит из системы задвижек, элеватора и регулятора расхода. Их надежности известны и соответственно равны:  $p_1 = 0,99$ ;  $p_2 = 0,8$ ;  $p_3 = 0,5$  (элементы выходят из строя независимо друг от друга). До срока капитального ремонта выяснилось, что рассматриваемый узел управления системой отопления неисправен. Определить вероятности гипотез: неисправна система задвижек –  $H_1$ , неисправен элеватор –  $H_2$ , неисправен регулятор расхода –  $H_3$ .

До опыта возможны были не три, а восемь гипотез:  $H_0$  – исправны все три элемента,  $H_4$  – неисправны система задвижек и элеватор,  $H_5$  – неисправны система задвижек и регулятор расхода,  $H_6$  – неисправны элеватор и регулятор расхода,  $H_7$  – неисправны все три элемента. В результате оказалось, что имеет место одна из гипотез  $H_1, H_2, H_3$  ( $A = H_1 + H_2 + H_3$ ).

Априорные вероятности гипотез:

$$P(H_1) = 0,099; P(H_2) = 0,004; P(H_3) = 0,001; \sum_{i=1}^3 P(H_i) = 0,104.$$

Апостериорные вероятности гипотез:

$$P(H_1 | A) = \frac{0,099}{0,104} \approx 0,95; P(H_2 | A) = \frac{0,004}{0,104} \approx 0,04; P(H_3 | A) = \frac{0,001}{0,104} \approx 0,01.$$

Часто возникает задача, аналогичная предыдущей, но с некоторым видоизменением. Пусть узел управления системы отопления (характеристики указаны выше) подвергается текущим испытаниям. Оказалось, что он неисправен. Для локализации неисправности система подвергается испытаниям: на прочность (давлением), на плотность (воздушным давлением), на температурный режим. Первые две проверки не показали неисправности (арматура и оборудование не вышли из строя); третья показала отклонение от нормы, то есть произошло событие  $B = \{+ + -\}$ . Известные вероятностные ошибки  $p_{ij}$  проверок ( $i$  – номер проверки,  $j$  – номер гипотезы; результаты испытаний независимы) при наличии гипотез  $H_1, H_2, H_3$ :  $p_{11} = 0,01$ ,  $p_{12} = 0,03$ ,  $p_{13} = 0,005$ ;  $p_{21} = 0,01$ ,  $p_{22} = 0,02$ ,  $p_{23} = 0,01$ ;  $p_{31} = 0,02$ ,  $p_{32} = 0$ ,  $p_{33} = 0,03$ .

Требуется определить наиболее вероятную гипотезу о причине неисправности. В качестве априорных вероятностей для учета результатов проверки возьмем данные предыдущей задачи:  $P(H_1 | A) = 0,95$ ;  $P(H_2 | A) = 0,04$ ;  $P(H_3 | A) = 0,01$ .

Условные вероятности события  $B$ :

$$P(B | H_1) = (1 - p_{11}) \cdot (1 - p_{21}) \cdot p_{31} \approx 0,018;$$

$$P(B | H_2) = (1 - p_{12}) \cdot (1 - p_{22}) \cdot p_{32} = 0; \quad P(B | H_3) = (1 - p_{13}) \cdot (1 - p_{23}) \cdot p_{33} \approx 0,03.$$

По формуле Байеса:

$$P(H_1 | AB) = \frac{P(H_1 | A) \cdot P(B | H_1)}{\sum_{i=1}^3 P(H_i | A) \cdot P(B | H_i)} \approx 0,983;$$

$$P(H_2 | AB) = 0; \quad P(H_3 | AB) \approx 0,017.$$

3. В стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие. Определить объем воды  $Q$ , м<sup>3</sup>, вытекающий в 1 секунду (рис. 2).

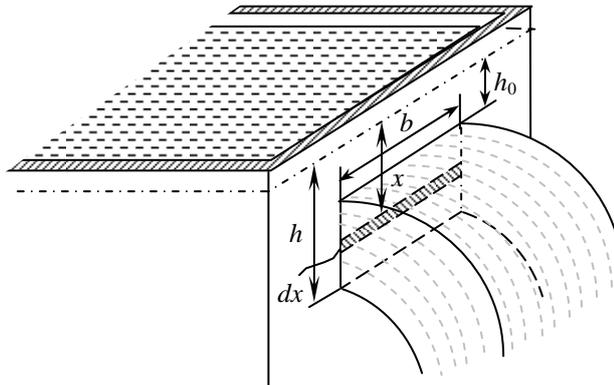


Рис. 2. Расчет объема воды, вытекающей из прямоугольного отверстия

Если в стенке резервуара, наполненного водой, на глубине  $h$ , м, под поверхностью воды имеется горизонтальная щель, то через нее вода будет вытекать со скоростью  $v$ , м/с:  $v = \sqrt{2gh}$  (формула Торичелли; доказывается в гидродинамике; имеет такой же вид, как и формула для скорости, приобретаемой тяжелой материальной точкой при падении с высоты  $h$ ).

Элементарной полоске шириной  $dx$  площадью  $b dx$  на глубине  $x$  соответствует скорость  $v = \sqrt{2gx}$ . Расход воды через эту полоску –  $dQ = \sqrt{2gx} b dx$ . Откуда:

$$Q = \sqrt{2gb} \int_{h_0}^h x^{\frac{1}{2}} dx = \frac{2}{3} \sqrt{2gb} \left( h^{\frac{3}{2}} - h_0^{\frac{3}{2}} \right).$$

Фактический расход будет несколько ниже из-за наличия трения в жидкости и сжатия струи. Их влияние обычно учитывается введением эмпирического коэффициента  $\mu < 1$ :

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2gb} \left( h^{\frac{3}{2}} - h_0^{\frac{3}{2}} \right).$$

В частном случае при  $h_0 = 0$  получим

$$\text{формулу для расхода воды через прямоугольный водослив: } Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2gb} h^{\frac{3}{2}}.$$

4. Требуется выбрать место для постройки моста через реку так, чтобы длина дороги между двумя пунктами, расположенными по разные стороны от реки, была наименьшей (рис. 3). Расстояния  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $h$  принимаются постоянными.

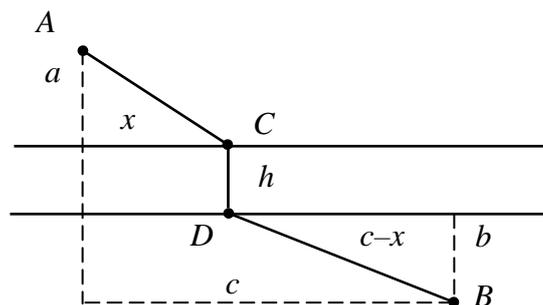


Рис. 3. Расчет минимального расстояния между точками A и B

Длина дороги между пунктами A и B:  $l = AC + h + DB$ ;

$$AC = \sqrt{a^2 + x^2}, DB = \sqrt{b^2 + (c-x)^2}, l = \sqrt{a^2 + x^2} + h + \sqrt{b^2 + (c-x)^2}, x \in [0, c].$$

Найдем наименьшее значение функции  $l(x)$  на отрезке  $[0, c]$ .

Из  $l' = 0$  следует  $x_1 = \frac{ac}{a-b}$  и  $x_2 = \frac{ac}{a+b}$ . Точка  $x_1$  лежит вне отрезка  $0 \leq x \leq c$ ; при  $a > b, x_1 > c$ , при  $a < b, x_1 < 0$ ; точка  $x_2$  лежит внутри этого отрезка при любых положительных значениях  $a, b$  и  $c$  ( $x_2 > 0, \frac{a}{a+b} < 1, x_2 < c$ ). Точка  $x_2$  есть точка

минимума. Искомая длина  $l$  дороги будет наименьшей при  $A_1C = x = \frac{ac}{a+b}$ .

Из приведенных примеров следует, что компетентностный подход должен основываться на современной парадигме образования [3...6]. Его основное требование – переход от принципа учения к эволюционному принципу научения, самообучения, от отдельных связей – к связям системного характера; поддерживается переход от интуитивной технократической связи дисциплин, накопления знаний и умений к этапу использования и приращения индивидуального и общественного интеллекта общества. Здесь поддерживается *замкнутый цикл* «знания – умения – навыки – применение (актуализация) – производство знаний» вместо классической триады «знания – умения – навыки».

#### Список литературы

1. Скачков, Ю.П. Модификация метода ПАТТЕРН к решению архитектурно-строительных задач / Ю.П. Скачков, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1(10). – С.4–9.
2. Данилов, А.М. Теория вероятностей и математическая статистика с инженерными приложениями: учеб. пособие / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС. – 2010. – 228 с.
3. Данилов, А.М. Методологические принципы оценки качества образовательной системы / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.В. Маркелова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – URL: [www.science-education.ru/116-12335](http://www.science-education.ru/116-12335)
4. Гарькина, И.А. Системный подход к повышению качества образования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. – 2013. – №4. – Т. 19. – С. 4–7.

5. Данилов, А.М. Образовательная система с позиций идентификации и управления / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 143–146.
6. Данилов, А.М. Междисциплинарные связи при компетентностном подходе к подготовке бакалавров / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.В. Маркелова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – URL: [www.science-education.ru/117-13065](http://www.science-education.ru/117-13065)

### References

1. Skachkov, Y.P. Variation of the PATTERN method in context of architectural and constructional problems / Y.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2011. – № 1 (10). – P.4–9.
2. Danilov, A.M. Probability theory and mathematical statistics with engineering applications: a tutorial / A.M. Danilov, I.A. Garkina. – Penza: PGUAS. – 2010. – 228 p.
3. Danilov, A.M. Methodological principles of assessing the quality of the educational system / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.V. Markelova // Modern problems of science and education. – 2014. – № 2. – URL: [www.science-education.ru/116-12335](http://www.science-education.ru/116-12335).
4. Garkina, I.A. Systematic approach to improving the quality of education / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Bulletin of Sh. N.A. Nekrasov. – 2013. – № 4. – Т. 19. – P. 4–7.
5. Danilov, A.M. Educational system from the standpoint of identification and management / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 2. – P. 143–146.
6. Danilov, A.M. Interdisciplinary links and competence approach to training bachelors / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.V. Markelova // Modern problems of science and education – 2014. – № 3. – URL: [www.science-education.ru/117-13065](http://www.science-education.ru/117-13065).

УДК 94(075)

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Морозов Сергей Дмитриевич,**  
доктор исторических наук,  
профессор кафедры «История и  
философия»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Morozov Sergey Dmitrievich,**  
Doctor of Historical Sciences,  
professor of the department «History and  
philosophy»

## ПЕРВАЯ МИРОВАЯ ВОЙНА И ЕЁ ПОСЛЕДСТВИЯ

С.Д. Морозов

Анализируются трагические последствия Первой мировой войны, демографический кризис, численность и потери населения России, соотношение мужчин и женщин в разных регионах и губерниях страны. Определены факторы снижения рождаемости и повышения смертности, ослабления брачных союзов.

*Ключевые слова: Россия, 1914–1918 гг., мужчины, женщины, демография, население, численность, потери, кризис, последствия*

## WORLD WAR I AND ITS CONSEQUENCES

S.D. Morozov

The tragic consequences of World War I, demographic crisis, number and losses of the population of Russia, a ratio of men and women in different regions and country provinces are analyzed. Factors of decrease in birth rate and increase of mortality, weakening of marriages are studied.

*Keywords: Russia, 1914–1918, men, women, demography, population, number, losses, crisis, consequences*

Первая мировая война была вызвана обострением коренных противоречий между крупнейшими капиталистическими государствами. Империалистические страны боролись друг с другом за рынки сбыта и источники сырья. Данные противоречия (в основном экономического характера) возникали и нарастали на протяжении длительного времени и привели к образованию враждебных коалиций. Германия, опоздавшая к колониальному разделу мира, стремилась наверстать упущенное. Именно Германия из всех держав являлась наиболее заинтересованной в глобальной войне за передел мира (хотя это не снимает ответственности с других государств). Союзником Германии выступила Австро-Венгрия, имевшая свои виды на Балканы. Франция, традиционный противник Германии на континенте, искала союзника и нашла его в лице России. Особенно остро встали англо-германские противоречия, поэтому Англия присоединилась к русско-французскому союзу. Россия и Англия сгладили свои противоречия, разграничив сферы влияния в Иране, Афганистане и Тибете. Так объединились страны Согласия – Антанта.

Участие России в войне объясняется не ее непосредственными интересами, а, в первую очередь, союзническими обязательствами и стремлением укрепить свой статус великой державы. В России понимали гибельность войны в условиях нестабильной экономики и острых внутренних противоречий. Помня результаты Русско-Японской войны и революции, П.А. Столыпин и российская дипломатия придерживались формулы «мир во что бы то ни стало». Но все же в предстоящей войне Россия собиралась захватить черноморские проливы, открывавшие дорогу в Средизем-

---

номере. Также Россия стремилась закрепиться на Балканах в ущерб интересам Австро-Венгрии.

В годы Первой мировой войны, революции и последовавших за ними Гражданской войны и интервенции социально-демографическая ситуация в стране резко изменилась. Ее изучение связано с определенными трудностями. В частности, по сравнению с предыдущими годами качество демографической информации заметно ухудшилось. Прежде всего была расстроена система текущего учета населения в условиях военного времени и в результате реформ новых органов государственной власти, включавших отделение церкви от государства и создание новой системы учета естественного движения населения. Так, 18 декабря 1917 г. был утвержден Декрет о гражданском браке, о детях и о введении книг актов гражданского состояния, который предусматривал обязательную регистрацию рождений, браков, смертей в специальных книгах отделов записей браков и рождений.

Но несмотря ни на какие обстоятельства, от тех лет осталось немалое статистическое наследие. Например, Л.И. Лубны-Герцык, изучая движение населения в 1916–1922 гг., использовал данные по 28 губерниям; В.З. Дробижев для периода 1917–1920 гг. приводил иную информацию по 16 губерниям, не считая городов.

Начавшаяся мировая война не позволила провести намечавшуюся на 1915 г. Вторую всеобщую перепись населения. Однако в указанный период времени в стране провели фактически две переписи населения, результаты которых были необходимы для решения продовольственной проблемы, проведения аграрной реформы, послевоенного государственного строительства. В 1916 г. была проведена первая сельскохозяйственная перепись, во время которой были собраны сведения о сельском и частично о городском населении; в 1917 г. – сельскохозяйственная, поземельная и городская переписи. Кроме того, в этот период проводились различные выборочные обследования, существовали также различные косвенные источники информации о населении – материалы Министерства земледелия, Наркомздрава РСФСР, комитетов помощи беженцам, голодающим, и т.д.

Бесспорно, данные периода Первой мировой войны являются неполными и часто противоречат друг другу. Например, ни одна из двух переписей не охватила всей территории страны. Но, как совершенно справедливо заметил академик Ю.А. Поляков, «...было бы неправильно совершенно пренебрегать данными статистического учета тех лет. Они не могут дать полной картины, но ряд сведений являются доказательными и неплохо характеризуют демографические тенденции».

Главным показателем демографического кризиса стало резкое сокращение общей массы населения, особенно Российского Центра и Европейской России, за четыре года войны: к началу 1914 г. оно составило соответственно 54446,5 и 128864,3 тыс. чел. обоего пола, в 1916 г. – сократилось до 50003,5 и 97706,4 тыс. чел., сократившись на 47466,2 тыс. чел., а в 1917 г. – до 43668,9 тыс. чел., уменьшившись на 10777,6 и 813981 тыс.чел. [1, с.19–20]. Напомним, что центральные губернии региона не являлись театром военных действий; из них шел призыв в армию и отправка на фронты «великой войны»; вместе с тем в эти годы сюда прибывали беженцы и военнопленные; все это повлияло на изменение численности и состав населения.

Первая мировая война нанесла значительный удар по уровню рождаемости в России. Массовая мобилизация мужского населения вызвала разрушение прежних семейных связей и резко сократила возникновение новых брачных союзов. Все это в скором времени отразилось на снижении рождаемости. Влияние «великой войны» оказалось куда более значительным, чем Русско-Японской. Было мобилизовано 16 млн мужчин, то есть в 12 раз больше, чем в 1904–1905 гг. Это составило 40 % всех мужчин в возрасте от 20 до 50 лет.

Война началась летом и, следовательно, на численность родившихся в 1914 г. она еще не могла повлиять. Таким образом, 1914 г. в отношении числа рождений следует рассматривать как мирный год. Только с 1915 г. начало сказываться «огненное дыхание» войны.

---

Однако точно проследить влияние войны оказалось невозможным из-за расстройств статистики естественного движения населения в результате ведения военных действий и начавшейся общей разрухи в стране. По результатам произведенных на основе использования различного местного материала и данных переписи 1926 г. о возрастном составе населения расчетов динамика коэффициентов рождаемости в России в годы Первой мировой войны выражена в следующих цифрах.

Снижение рождаемости и повышение смертности наблюдались во всех городах, но темпы снижения резко различались между собой. Если в Петрограде и Москве рождаемость упала значительно, соответственно с 25 до 15 % и с 31 до 14,7 %, а смертность повысилась соответственно с 21,5 до 46,7 % и с 23,2 до 29,9 %, то в Ярославле и Саратове снижение рождаемости не превышало 15–25 %. В целом рождаемость к 1917 г. снизилась почти вдвое; особенно резкое ее снижение наблюдалось в сельской местности.

Уровень рождаемости в годы Первой мировой войны, по имеющимся статистическим данным, снизился примерно на 45 %. Если родившихся в 1913 г. в 12 губерниях России, Петрограде и Москве, по которым имеется непрерывный ряд данных, принять за 100 %, то динамика рождений представляется следующим образом: в 1914 г. – 102 %, в 1915 г. – 88 %, в 1916 г. – 69 %, в 1917 г. – 54 %. Рост рождаемости в 1914 г. объясняется тем, что в этом году рождались дети, зачатые еще в довоенное время. В связи с тем, что сельская местность больше пострадала от мобилизации, чем город, в ней наблюдалось и большее сокращение рождаемости.

Тенденции рождаемости в 1914–1917 гг. представлены данными текущего учета населения. Материалы местной статистики дополняют данные о движении населения в эти годы. Коэффициент рождаемости в Орловской губернии составил в 1917 г. 29 %. Для Саратовской губернии имеются дифференцированные показатели по городу и селу: рождаемость в городах в 1917 г. здесь составила 19,1 %, а в селах – 18,7 %. Показатели рождаемости в Ярославской губернии в городах составили в 1917 г. 31,6 %, а в селах – 25,3 %.

Представление о сильном влиянии кризиса на репродуктивное поведение дает анализ деформации возрастных коэффициентов рождаемости. Так, у когорты женщин 1890–1894 гг. интенсивность рождаемости в кризисные годы была значительно ниже возможной, что отразилось на повозрастном распределении рождений в последующие годы. Наиболее заметным снижением рождаемости было в молодых женских возрастах. Это подтверждается также некоторыми исследованиями.

На снижение рождаемости влияло еще и то обстоятельство, что в 1917 г. в сельской местности России отсутствовало 47,4 % мужчин трудоспособных и репродуктивных возрастов, а в некоторых из них – более половины, к примеру в Олонецкой – 51,8 %.

Разразившийся кризис содействовал распространению внутрисемейного контроля рождаемости, в том числе и в деревне. Так, из отчетов больниц, анкет участковых сельских врачей следует, что с 1914 г. значительно возросло число абортотворений. Новосельский С.А. отмечал, что сознательное регулирование размеров семьи в этот период широко распространилось среди населения, явившись одной из причин наблюдавшегося повсюду падения рождаемости. Этому способствовало настроение, созданное войной, экономическим кризисом и неуверенностью в завтрашнем дне.

Другой исследователь этого вопроса А.Б. Генс снижение рождаемости тесно связывал с распространением абортов: «С 1914 г. ...на селе осталась громадная армия «солдаток», потом и вдов, в связи с чем особенно усилился спрос на аборт, впервые вызвавший (спрос вызывает предложение) профессию бабок по абортам». Иной группой факторов, снижавших рождаемость, являлся рост заболеваемости женщин, психическое напряжение, которое вызывало длительное или временное бесплодие («амеорея военного времени»).

Первая мировая война резко ухудшила положение широких слоев населения. Уровень питания значительно снизился, жилищные условия городского населения ухудшились, медицинское обслуживание стало менее удовлетворительным. Все это привело к увеличению смертности населения.

Смертность в 1915–1917 гг. несколько снизилась по сравнению с 1913 г., исключительно вследствие падения рождаемости. Поэтому для получения правильной картины уровня смертности уместно привести коэффициенты смертности для населения старше одного года. При таком подсчете падение рождаемости исключается лишь частично. В те годы очень велика была смертность среди младенцев, двух- и трехлетних детей, численность которых к 1916–1917 гг. значительно сократилась.

Хотя используются средние коэффициенты смертности по стране в целом, надо подчеркнуть, что они относятся преимущественно к низшим социальным слоям города и деревни, составлявшим подавляющую часть всего населения. Высшие и более обеспеченные слои жили в гораздо лучших условиях и уровень смертности у них был значительно ниже.

В годы войны наметились негативные изменения в эпидемиологическом фоне, нарастали топливный и продовольственный кризисы. Начало будущим эпидемиям положили стихийная демобилизация и беженцы, распространявшие очаги эпидемий по всей стране. Россия пережила небывалое усиление инфекционных заболеваний, голод и, как следствие, катастрофический рост уровня смертности.

Ожидаемая продолжительность жизни мужского населения Петрограда сократилась по сравнению с 1910–1911 гг. более чем на 10 лет и составила в 1917 г. 20,5 лет.

В сельской местности повышение уровня смертности было не столь значительным, хотя здесь в большей степени мог оказаться недоучет смертей. Так, в Московской губернии смертность возросла с 31,5 % в 1913 г. до 40,8 % в 1918 г., в Костромской, соответственно, – с 30,9 % до 49,6 %, в Орловской – с 27 % до 36,4 %.

Естественно, что и младенческая смертность оставалась очень высокой. Об этом можно судить по уровню младенческой смертности в Петрограде и Москве. Доля умерших младенцев в 1913–1917 гг. в среднем составила в Петрограде 26,8 % от числа родившихся, в Москве – 23,8 %.

Особенности процессов рождаемости, смертности и миграции предопределили характер воспроизводства населения. В целом по России за период с 1914 по 1917 гг. включительно численность населения сократилась почти на 11 млн чел. Имеющаяся информация не дает точной картины годовой численности населения страны.

Убыль населения в этот тяжелый для людей период обеспечила отрицательный естественный прирост. Если его уровень в губерниях, Петрограде и Москве принять за 100 % в 1913 г., то в 1914 г. он составил 119 %, в 1915 г. – 73 %, в 1916 г. – 22 %, а в 1917 г. его величина впервые стала отрицательной, что явилось результатом резкого падения уровня рождаемости в годы Первой мировой войны.

Влияние войны на брачность проявилось прежде всего в уменьшении числа заключенных браков, вызванном мобилизацией мужчин и отчасти ухудшением экономических условий.

Обычно война в большей степени влияет на брачность сельского населения, чем городского. Для городов характерны концентрация военнотружущих, система «брони» для мужчин, работавших на военных предприятиях и в некоторых гражданских учреждениях. В селах же всё мужское население призывного возраста, за исключением единиц, подлежало мобилизации. Например, изменение коэффициента брачности по Москве и Московской губернии в годы Первой мировой войны было следующим: в 1913 г. соответственно – 5,9 %, 7,4 %, в 1914 г. – 5,5 %, 5,6 %, в 1915 г. – 4,1 %, 2,2 %, в 1916 г. – 3,9 %, 2,3 %. Количество нереализованных браков в губерниях России в годы войны оценивается в 1,7 млн.

Крупные войны, какой была Первая мировая война, служат причиной таких глубоких и необратимых изменений в составе населения, которые не только затрудняют процесс послевоенной компенсации брачности, но еще долго негативно влияют на брачность многих поколений людей. Главное в этих изменениях – нарушение нормальной возрастно-половой структуры населения. Причины такого нарушения – повышение смертности людей в период войны и прежде всего массовая гибель молодых мужчин на полях сражений.

---

Немалое значение имеет также пониженная рождаемость в военные годы, которая приводила к существенной деформации возрастной пирамиды и сказывалась на брачности много позднее, когда в брачный возраст вступали поколения, родившиеся в военные и примыкавшие к ним годы.

Брачность порой считают главным фактором, определяющим снижение рождаемости в годы кризисов. Но эта точка зрения ошибочна, поскольку снижение уровня брачности в короткий интервал времени влияет лишь на интенсивность рождений первенцев. Это легко подтвердить простыми арифметическими подсчетами. «Недород» детей в 1914–1917 гг. составил 6 млн чел., а дефицит браков – 1,7 млн. Делая заведомо неточное предположение о том, что у всех молодоженов протогенетический интервал равнялся одному году, можно сделать вывод, что большая часть «недорода» (4,3 млн) была обусловлена другими факторами.

В целом по сокращению числа браков Россия занимала одно из ведущих мест среди воюющих государств. Если принять количество браков, заключенных в 1913 г. в 6 губерниях России, Петрограде и Москве, за 100 %, в 1914 г. оно составило 85 %, в 1915 г. – 46 %, в 1916 г. – 44 %. В 1917 г. число браков увеличилось до 65 %, видимо, из-за стихийно нараставшей демобилизации и прекратившихся со второй половины года наборов в армию, а также по причине возвращения раненых воинов домой, «прилива» беженцев и военнопленных, увеличения численности лиц, получивших «бронь».

Такое резкое повышение уровня брачности носило отчасти компенсаторный характер. Но в большей степени оно объяснялось введением полной свободы разводов и гражданских браков, а также коренными изменениями бытовых и хозяйственных условий жизни людей.

Много было заключено фиктивных браков с эвакуированными иностранцами и военнопленными для того, чтобы эмигрировать. Уровень разводов, соответственно, значительно возрос. Однако судить об их количестве на основе имеющихся материалов трудно, поскольку техника их регистрации не была налажена. Можно отметить, что в Петрограде среди всех заключенных браков доля тех, в которых хотя бы один супруг был разведен, повысилась с 1,6 % в 1913 г. до 11,2 % в 1917 г.

Безвозвратные потери российской армии, которая воевала на территории Европейской России, в Первую мировую войну были велики. Численность погибших солдат и офицеров составила, по наиболее достоверным оценкам, от 2,3 до 2,5 млн чел.

Сведения о людских потерях российских вооруженных сил в Первую мировую войну, встречающиеся в отечественных и зарубежных источниках, в большинстве своем противоречивы. Объясняется это прежде всего неодинаковой полнотой и достоверностью материалов, использованных исследователями, а также существенными различиями в методике подсчета потерь.

В результате разницы, например, в количестве погибших и умерших российских солдат и офицеров колеблется в опубликованных работах от нескольких сотен тысяч до 1–2 млн чел. В подтверждение этого факта приведем ряд цифр безвозвратных демографических потерь российской армии, взятых из разных отечественных источников: 511,1 тыс. чел., 562,6 тыс. чел., 626,9 тыс. чел., 775,4 тыс. чел., 908 тыс. чел., 2300 тыс. чел., 3000 тыс. чел. [2, с. 92–109].

Аналогичные расхождения в подсчете потерь российской армии имеют место и в зарубежных источниках и публикациях. Приведем здесь несколько цифр о количестве погибших российских воинов: 1290 тыс. чел., 1500 тыс. чел., 1700 тыс. чел., 2000 тыс. чел., 2250 тыс. чел., 2762 тыс. чел., 3000 тыс. чел [3, с.19].

Наши исследования в этом вопросе опирались в основном на авторитетные статистические данные академика Ю.А. Полякова и Г.Ф. Кривошеева. Используются также и другие источники, в которых содержится базовый материал по рассматриваемой теме. Наибольшее значение придавалось установлению количества безвозвратных потерь российской армии, в том числе по видам и категориям военнослужащих. В обобщенном виде эти данные представлены следующими цифрами.

Из безвозвратных демографических потерь российской армии в войне 1914–1918 гг. выделим безвозвратные боевые и безвозвратные небоевые потери. В числе безвозвратных боевых потерь было убито, умерло на этапах санитарной эвакуации: всего 1200 тыс. чел., в том числе офицеров и военных чиновников – 23,1 тыс. чел., низших чинов – 1176,9 тыс. чел.; пропало без вести соответственно – 439,4 тыс. чел., 7,3 тыс. чел., 432 тыс. чел.; умерло от ран в госпиталях – 240 тыс. чел., 7,1 тыс. чел., 232,9 тыс. чел.; умерло от отравления газами – 11 тыс. чел., 161 чел., 10 тыс. чел.; всего безвозвратных боевых потерь – 1890,4 тыс. чел., 37,7 тыс. чел., 1852,6 тыс. чел. В числе безвозвратных небоевых потерь умерло от болезней: всего 155 тыс. чел., в том числе офицеров и военных чиновников – 10,3 тыс. чел., низших чинов – 144,7 тыс. чел.; умерло в плену соответственно – 190 тыс. чел., 1,1 тыс. чел., 188,9 тыс. чел.; погибло, умерло в результате несчастных случаев и др. – 19 тыс. чел., 2,2 тыс. чел., 16,8 тыс. чел.; всего безвозвратных небоевых потерь – 364 тыс. чел., 13,4 тыс. чел., 350,3 тыс. чел. В итоге суммируем все безвозвратные демографические потери российской армии – 2254,4 тыс. чел., в том числе офицеров и военных чиновников – 51,4 тыс. чел., низших чинов – 2203 тыс. чел. [4, с.20–27].

Санитарные потери армии (раненые, заболевшие, пострадавшие от газов) были колоссальными. Достаточно сказать, что только госпитализированных за время войны военнослужащих, нуждавшихся в продолжительном лечении, учтено 5148,2 тыс. чел., из них раненых 2844,5 тыс. чел., заболевших – 2303,7 тыс. чел. Если же учесть все случаи ранений, не требовавших эвакуации в госпитали, то число санитарных потерь возрастет еще на 50 %.

К началу войны находились в армии и на флоте 1423 тыс. чел., в ходе войны было призвано 13955 тыс. чел., всего было привлечено в вооруженные силы 15378 тыс. чел. В годы войны из вооруженных сил убыло всего 7429 тыс. чел., в том числе: убито, умерло от ран, болезней, от отравления газами, несчастных случаев и погибло из числа без вести пропавших (демографические потери) – 2254,4 тыс. чел. Кроме того, находились в лечебных заведениях (раненые и больные) 350 тыс. чел., на длительном лечении и уволено со службы по инвалидности (тяжело раненые) – 349 тыс. чел. На основании постановления Временного правительства осенью 1917 г. были уволены с военной службы солдаты, достигшие предельного 43-летнего возраста – 226,6 тыс. чел.; оставалось в вооруженных силах на 1 сентября 1917 г. всего 7949 тыс. чел., из них: в составе действующей армии – 6512 тыс. чел., в составе тыловых формирований и органов военного управления, подчиненных Военному министерству, – 1437 тыс. чел. [5, с. 199].

Подсчитанные численность и потери российской армии в Первой мировой войне дали возможность показать сальдо людского контингента страны, привлеченного в российские вооруженные силы.

Первая мировая война деформировала возрастную-половую структуру населения России. В отличие от возрастной пирамиды 1896–1897 гг. и 1900-х гг. пирамида, отражавшая итоги демографического развития в 1914–1917 гг., имеет «демографические ямы» в возрастах от 5 до 14 лет, то есть родившихся в 1912 – 1916 гг., что является следствием падения рождаемости.

Повышенная смертность мужчин, вызванная потерями на фронтах, от террора, меньшей сопротивляемостью болезням, а также большая их доля среди эмигрантов изменили соотношение полов в общей численности населения. Если на рубеже XIX–XX вв. женщины по численности незначительно доминировали над мужчинами, то к 1917 г. этот разрыв увеличился многократно и достиг рубежа в несколько миллионов.

В 1914 г. городское население России в среднем имело следующее соотношение возрастов и полов. Так, в возрасте до 1 года (младенцы) мужской пол преобладал над женским – соответственно 18,8 % и 15,2 %; в возрасте 1 года соотношение полов несколько изменилось: мужской – 16,9 %, женский – 13,7 %; 1–4 лет соответственно – 73,9 % и 61,4 %; 5–9 лет – 138,1 % и 118,7 %; 10–14 лет – 137,9 % и 121,5 %; 15–16 лет – 23,1 % и 23,1 %; 17 лет – 20,1 % и 23,2 %; 18 лет – 14,8 % и 23,2 %; 19 лет – 10,6 % и 20,6 %; 20–29 лет – 138,1 % и 195,9 %; 30–39 лет – 138,2 % и 132,3 %; 40–49 лет –

115,3 % и 95,7 %; 50–59 лет – 79,7 % и 73,9 %; старше 60 лет – 66,5 % и 71,8 % [6, с. 1–25, с. 33–57].

Сельское население в тот же период имело следующую возрастную-половую структуру. В возрасте младенцев представители мужского пола и здесь преобладали над женским – соответственно 19,3 % и 15,8 %; в возрасте 1 года соответственно – 20,4 % и 16,8 %; 1–4 лет – 99,7 % и 83,7 %; 5–9 лет – 191,1 % и 162,5 %; 10–14 лет – 172,5 % и 141,6 %; 15–16 лет – 27,6 % и 26,1 %; 17 лет – 24,5 % и 25 %; 18 лет – 19,2 % и 22,9 %; 19 лет – 9,1 % и 18 %; 20–29 лет – 95,4 % и 161,1 %; 30–39 лет – 88,4 % и 110,8 %; 40–49 лет – 87,5 % и 80,6 %; 50–59 лет – 66,3 % и 61,8 %; старше 60 лет – 70,1 % и 63,6 % [7, с. 3–91].

Возрастно-половая структура городского и сельского населения России к 1917 г. значительно изменилась. В возрасте младенцев среди горожан мужчины составляли 20,8 %, женщин – 16,7 %; среди сельчан соответственно – 29,5 % и 23 %; в возрасте 1 года горожан-мужчин было 17,9 %, женщин – 14,6 %; сельчан-мужчин – 30,8 %, женщин – 24,4 %; 1–4 лет соответственно – 76,9 % и 64 %; 5–9 лет – 109,7 % и 87,3 %; 10–14 лет – 128 % и 113,6 %; 15–16 лет – 23,9 % и 21,6 %; 17 лет – 21,6 % и 22,2 %; 18 лет – 17,9 % и 23,3 %; 19 лет – 12,5 % и 21,2 %; 20–29 лет – 148,3 % и 189,7 %; 30–39 лет – 149,6 % и 133,7 %; 40–49 лет – 120 % и 104,8 %; 50–59 лет – 76,4 % и 82 %; старше 60 лет – 52,9 % и 76,2 % [8, с. 2–3].

Характеризуя возрастную-половую состав городского и сельского населения к 1917 г., отметим, что в деревне был гораздо выше удельный вес детей, рожденных в военное время. По районам наиболее высокий удельный вес этой категории (в селах) имели Северо-Западный и Центрально-Промышленный районы, самый низкий – Центрально-Земледельческий и Поволжский районы, что явно объясняется большим отвлечением из двух последних районов мужского населения на фронт. Перевес деревни заметен и по более дробным возрастным категориям (в младенческом возрасте, в возрасте одного года и т.д.).

В деревне, по сравнению с городом, значительно выше была доля детей в возрасте 5–9 лет. Это, безусловно, объясняется тем, что и до войны село отличалось более высоким уровнем рождаемости, особенно юго-восточные губернии Центрально-Земледельческого и Поволжского районов. Это превышение видно и применительно к возрастной группе 10–14 лет с постепенным снижением разницы к 16–17 годам. Переломным является 18-летний возраст, отличающийся большим удельным весом горожан.

В годы войны резко изменилось соотношение мужского и женского населения. Если показатели 1914 г. говорят о численном равенстве полов, то данные 1917 г. показывают огромный численный перевес женщин в самых детородных возрастах.

Начиная с 19 лет, наблюдается снижение удельного веса молодых мужчин, особенно в деревне (8 %). Если в детских возрастных группах было заметно сначала преобладание мужского пола, затем примерное равенство, позже преобладание женского, то с 18 и особенно с 19 лет численность женщин намного превышала численность мужчин. Группы возрастов 20–29 лет, 30–39 лет и 40–49 лет показывают превышение удельного веса обоих полов города над деревней. Возрастная группа 50–59 лет также показывает в целом по стране превышение удельного веса города над деревней, хотя в таких крупных районах, как Центрально-Промышленный и Центрально-Земледельческий, эта группа в городе и деревне по удельному весу практически была равной. Зато группа в возрасте старше 60 лет преобладала в деревне значительно и повсеместно.

Итак, в деревне было относительно больше, чем в городе, детей и стариков, а город, по сравнению с деревней, имел больше людей в возрасте от 18 до 60 лет. Анализ данных по России показывает, что в деревне было относительно больше детей, рожденных в военное время. К 1917 г. дети обоих полов в возрасте 1–4 лет составляли 98,5 %, в городах – 70,5 %; соответственно в деревне младенцев было 26,3 %; в городе – 18,8 %; в деревне детей в возрасте 1 года было 27,6 %, в городе – 16,3 %.

Отметим также то обстоятельство, что в деревне и до войны был выше уровень рождаемости; к концу войны удельный вес детей в возрасте 5–9 лет был выше, он составлял 158,4 %, в городе – 118,2 %. Это относится и к детям 10–14 лет: соответственно 146,8 % – в деревне, 120,8 % – в городе.

Не столь значительной была разница в 15–16-летнем возрасте: 26 % – в деревне и 22,8 % – в городе; она почти исчезает для мужчин и приобретает обратное значение для женщин в 17-летнем возрасте: в деревне соответственно – 22,2 % и 21,8 %, в городе – 21,6 % и 22,1 %. Начиная с 18-летнего возраста, шло явное преобладание города над деревней: так, возраст 20–24 лет в деревне составлял 54,3 %, в городе – 85,7 %.

Возраст 20–29 лет составлял 51,6 % в деревне и 83,3 % в городе. С 19-летнего возраста наблюдается также резкое (особенно в деревне) преобладание женщин. Возраст 30–39 лет составил в деревне 106,2 %, в городе – 141,7 %; в городе мужчины этого возраста имели уже значительное численное преобладание над женщинами.

Возрастная группа 40–49 лет у мужчин имела больший удельный вес в городе и в деревне, хотя в абсолютных цифрах женщин было по-прежнему значительно больше. Пожилых, особенно старше 60 лет, было в деревне больше, чем в городе. Группа в возрасте 50–59 лет составила в деревне 74,9 %, в городе – 77,4 %; группа старше 60 лет соответственно – 83,8 % и 64,9 %.

Анализ аналогичных данных по районам и губерниям Российского Центра обнаруживает те же черты и параметры, хотя с определенными колебаниями и отклонениями по отдельным возрастам.

Сравнение с данными 1897 г. показывает резкое падение в 1917 г. удельного веса мужчин в возрасте 20–29 лет. По 23 губерниям Российского Центра мужчины этого возраста составляли в 1897 г. 15,7 %, в 1917 г. – 7,7 % [9, с. 5, 10–11].

Исчислив по данным ЦСК и переписей 1916–1917 гг. погубернское соотношение числа мужчин и женщин, можно установить довольно точно численность входивших в состав обычного населения мужчин на основании численности женщин, приведенной для соответствующих административных делений.

В некоторых губерниях России в значительной степени снизилось влияние войны – уход мужского населения в армию компенсировался присутствием военнопленных и беженцев (мужчин). Так, в сельской местности на 100 женщин приходилось мужчин: в Астраханской губернии в 1914 г. – 104,9, в 1917 г. – 104,2; во Владимирской – соответственно 88,7 и 89,9; в Воронежской – 99,7 (за 1917 г. сведений нет); в Казанской – 98,5 (за 1917 г. сведений нет); в Калужской – 83,7 и 89,1; в Костромской – 85,9 и 89,6; в Курской – 99,2 и 99,5; в Московской – 86,3 и 86,9; в Нижегородской – 91,7 и 91,4; в Новгородской – 92,2 и 94,7; в Олонецкой – 91,9 и 92,8; в Орловской – 96 и 97,6; в Пензенской – 93,3 и 97,4; в Петроградской – 92,3 и 94,4; в Рязанской – 94,6 и 96,1; в Самарской – 98,4 и 100,7; в Саратовской – 97,5 и 100,2; в Симбирской – 94,7 и 96,8; в Тамбовской – 96,4 и 97,7; в Тверской – 87,7 и 85,9; в Тульской – 89,1 и 98,1; в Ярославской – 78,8 и 83,6 [10, с. 3–71].

Как правило, численность мужчин значительно отставала от численности женщин в губерниях с промысловым отходом (Владимирская, Калужская, Костромская, Московская и др.) и была близка к последней в земледельческих губерниях.

В России к 1918 г. участники Первой мировой войны в возрасте 30 лет и старше составляли более 60 % этих возрастных групп. В это время в стране насчитывалось св. 500 тыс. чел. с физическими недостатками, из них ок. 70 тыс. – получивших увечья на фронтах Первой мировой войны.

Таким образом, огромные безвозвратные потери военных лет повлекли за собой существенные изменения в соотношении возрастных групп и полов, значительно повлиявшие на общую демографическую ситуацию в стране, оказавшие негативное воздействие прежде всего на численность и состояние работоспособных и репродуктивных социальных слоев населения.

Пришедшие к власти большевики пошли на заключение мирного соглашения с австро-германским блоком в Брест-Литовске 3 марта 1918 г. в целях сохранения

---

собственного режима в условиях разраставшейся в стране Гражданской войны. Декретом о мире большевистское правительство легализовало тайную дипломатию, а также опубликовало секретные договоры, заключенные царским и Временным Правительством. Так Россия вышла из мировой войны. Страны Антанты не признали Брестский мир и стали готовиться к интервенции. Участие в Первой мировой войне стоило России гибели 2 млн чел., еще 5 млн было ранено и попало в плен. Война и вызванный ею кризис, охвативший все сферы жизни российского общества, способствовали активизации социальных процессов, приведших к крушению империи и установлению нового режима.

#### Список литературы

1. Горбунов, А.В. Влияние мировой войны на движение населения Европы / А.В. Горбунов // Русский Евгенистический журнал. – 1920. – Т.1. – Вып.1. – 192 с.
2. Георгиевский, А.С. Социально-гигиенические проблемы и последствия войн / А.С. Георгиевский, О.К. Гаврилов. – М.: Статистика, 1975. – 197 с.
3. Новосельский, С.А. Смертность и продолжительность жизни в России / С.А. Новосельский. – Пг.: ЦСК МВД, 1916. – 191 с.
4. Гуркин, В.В. Цена агрессии / В.В. Гуркин, О.Г. Гуров // Военно-исторический журнал. – 1989. – №9. – 207 с.
5. Андреев, Е. История населения СССР, 1920–1959 гг. / Е. Андреев, Л. Дарский, Т. Харьковская // Экспресс-информация. – М.: Статистика, 1990. – Вып.3–5. – Ч.1. – 399 с. (Серия «История статистики»).
6. Сборник статистических сведений. – М.: ЦСУ СССР, 1924. – 429 с.
7. Предварительные итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 1916 года. – Пг.: ЦСК МВД, 1916–1917. Вып. 1–3. – 917 с.
8. Статистический ежегодник, 1921. – М.: ЦСУ РСФСР, 1922. – 921 с.
9. Итоги переписи населения 1920 года. – М.: ЦСУ СССР, 1928. – 928 с.
10. Статистический справочник по аграрному вопросу. – М.: ЦСК МВД, 1917. – Вып.1–2. – 719 с.

#### References

1. Gorbunov, A.V. Influence of world war on population movement Europe / A.V. Gorbunov // Russian Evgenisticheskyy magazine. – 1920. – T.1. – V.1. – 192 p.
2. Georgiyevsky, A.S. Social and hygienic problems and consequences of wars / A.S. Georgiyevsky, O.K. Gavrilov. – M.: Statistics, 1975. – 197 p.
3. Nowosielski, S.A. Smertnost and life expectancy in Russia / S.A. Nowosielski. – Pg.: TsSK Ministry of Internal Affairs, 1916. – 191 p.
4. Gurkin, V.V. Tsena of aggression / V.V. Gurkin, O.G. Gurov Voenno-istoricheskyy magazine. – 1989. – № 9. – 207 p.
5. Andreyev, E. The history of the Soviet population, 1920-1959/ E. Andreyev, L. Darsky T. Kharkova // Express – information.– M.: Statistics, 1990. – V.3–5. – P.1. – 399 p. (Statistics History series).
6. Collection of statistical data. – M.: TsSU USSR, 1924. – 429 p.
7. Preliminary results of the All- Russian agricultural census of 1916. – Пг.: TsSK Ministry of Internal Affairs, 1916–1917. Vyp. 1–3. – 917 p.
8. Statistical year-book, 1921. – M.: TSSU RSFSR, 1922. – 921 p.
9. Results of population census of 1920. – M.: TsSU USSR, 1928. – 928 p.
10. Statistical reference book on an agrarian question. – M.: TsSK Ministry of Internal Affairs, 1917. Vyp.1–2. – 719 p.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ

Редакция журнала «Региональная архитектура и строительство» принимает к изданию оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты, и обзорные статьи по тематике журнала.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows версий 97 или выше, кроме версии Microsoft Word for Windows 2007. Необходимо представить статью в электронном виде (дискета 3,5", CD-диск) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах.

Оптимальный объем рукописи – 8...10 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt через полуторный интервал. Тип файла в электронном виде – RTF. Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, JPG с разрешением 600 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw, с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисуночными подписями. Формулы в тексте статьи выполняются в редакторе формул Microsoft World Equation, версия 3.0 и ниже. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

Заголовок статьи должен полностью отражать ее содержание.

### **Перечень документов для представления статьи к публикации в журнале:**

- сопроводительное письмо с перечнем прилагаемых документов;
- рукопись статьи в 2 экз., подписанная авторами;
- электронная версия статьи (дискета 3,5", CD-диск, E-mail: [tegas@pguas.ru](mailto:tegas@pguas.ru));
- экспертное заключение о возможности открытого опубликования (должно быть заверено печатью и подписью ответственного лица);
- внешняя рецензия, заверенная печатью организации с места работы рецензента;
- согласие на размещение статьи в открытом доступе в Internet;
- информация для заполнения учетного листа авторов на русском и английском языках (фамилия, имя, отчество, место работы и должность, ученая степень, ученое звание, почетные степени и звания, почтовый адрес с указанием индекса, телефон с указанием кода города, электронный адрес, полное и сокращенное название организации, в которой выполнена работа, её почтовый адрес).

### **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**

Статья должна содержать: индекс УДК; название на русском и английском языках; инициалы и фамилии авторов на русском и английском языках; аннотацию (до 5 строк), ключевые слова и список литературы на русском и английском языках, а также ссылки на литературу в квадратных скобках.

В списке литературы, оформленном согласно ГОСТ 7.1–2003, нумерация источников должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте. Номер источника с указанием используемых страниц приводится в квадратных скобках.

В списке указываются:

- для книг – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц;
- для журнальных статей, сборников трудов – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала, серия, год, том, номер, выпуск, страницы;
- для материалов конференций – фамилия и инициалы автора, название статьи, название издания, время и место проведения конференции, город, издательство, год, страницы.

В конце статьи допускается указание наименования программы, в рамках которой выполнена работа, или наименование фонда поддержки.

### **Рукописи статей рецензируются.**

Рукопись, полученная редакцией, не возвращается.

Редакция оставляет за собой право проводить редакторскую и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

