

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

**Выходит 4 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 9.12.2015.  
Формат 60x84 1/8.  
Уч.-изд.л. 19,0. Тираж 500 экз. Первый завод 100.  
Заказ № 436.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ  
АРХИТЕКТУРА  
И СТРОИТЕЛЬСТВО  
4(25)/2015**

**Содержание**

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ИЗДЕЛИЯ** ..... 4

**Гладких В.А., Королев Е.В., Хусид Д.Л.,  
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ  
СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОНА: МЕХАНИЗМ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕРЫ С БИТУМОМ** ..... 4

**Черкасов В.Д., Ушкина В.В.  
ПЕНОБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ БЕЛКОВОГО  
ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ  
ИЗ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ** ..... 12

**Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р.  
ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ГЛИНИТОВ  
В ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ НА ВОДОПОГЛОЩЕ-  
НИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ** ..... 18

**Низина Т.А., Балыков А.С.  
АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ  
МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК И ДИС-  
ПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-  
МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ** ..... 25

**Низина Т.А., Инин А.Е.  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЖИДКИЕ  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ  
НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР  
И ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ  
НАПОЛНИТЕЛЕЙ** ..... 33

**Жерновский И.В., Логанина В.И.,  
Кислицина С.Н., Фролов М.В.  
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ  
КОМПОЗИТОВ В ПРИСУТСТВИИ ГИДРО-  
СИЛИКАТОВ И АЛЮМОСИЛИКАТОВ  
КАЛЬЦИЯ** ..... 42

**Логанина В.И., Пышкина И.С., Толушов С.А.,  
Болдырев С.А.  
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СИНТЕЗА  
ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ  
ДЛЯ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
СМЕСЕЙ** ..... 48

**Кочеткова М.В., Щеглова А.С., Фокин Г.А.  
КИНЕТИКА ТВЕРДЕНИЯ  
ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА  
НА ПОРИСТОМ ОСНОВАНИИ** ..... 52

© Авторы публикаций, 2015  
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2015  
© ПГУАС, 2015

<b>Гусев Н.И., Чернышова Н.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЛАТЕКСА.....	56	<b>Данилов А.М., Гарькина И.А.</b> ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ И СИНТЕЗУ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	109
<b>Гусев Н.И., Кочеткова М.В.</b> СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА.....	60	<b>Кузина В.В.</b> ИНТЕРФЕЙСНАЯ ПОДСИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА И ГРАФИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕГИОНА.....	115
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ .....	65	АРХИТЕКТУРА.....	120
<b>Цимбельман Н.Я., Чернова Т.И., Шмыков А.А.</b> .....		<b>Ковалев Д. С.</b> КВАРТИРЫ ВЫСОКОГО И СРЕДНЕГО ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО УРОВНЕЙ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНАХ САНКТ- ПЕТЕРБУРГА: ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	120
ПАРАМЕТРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА С НАПОЛНИТЕЛЕМ.....	65	<b>Борисов С.В.</b> О ВЛИЯНИИ КОЛОКОЛЬНИ НА ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННУЮ КОМПОЗИЦИЮ ПРАВОСЛАВНОГО ХРАМА.....	126
<b>Мурашкин В.Г.</b> МЕТОДИКА УЧЕТА РОСТА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	74	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ .....	132
<b>Гучкин И.С., Багдоев С.Г., Шишкин С.О., Ласьков Н.Н.</b> СПОСОБ НАПРАВЛЕННОГО ДЕМОНТАЖА КИРПИЧНОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ.....	82	<b>Учасва Т.В.</b> ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ОКРАШИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ .....	132
<b>Зернов В.В., Зайцев М.Б., Валякин В.А.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕКТОРА ГРАДИЕНТА ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ.....	88	<b>Кучигина С.К., Суханова Т.В.</b> ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОГО РЫНКА ТРУДА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ (НА ПРИМЕРЕ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ) .....	137
<b>Гучкин И.С., Артюшин Д.В., Ласьков Н.Н.</b> УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РЕБРИСТЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОРПУСА .....	93	<b>Резник С.Д.</b> РАСПОРЯЖЕНИЕ: КАК СФОРМУЛИРОВАТЬ ЕГО ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЧТОБЫ ПОДЧИНЕННЫЙ МОГ И ХОТЕЛ ЕГО ВЫПОЛНИТЬ .....	141
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ .....	98	Указатель статей, опубликованных в 2015 г.....	148
<b>Данилов А.М., Гарькина И.А.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМНОГО ОБЪЕКТА: МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ.....	98		
<b>Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Полубояринов П.А., Князев В.А.</b> НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ОТРАБОТАННЫХ ТРАВильНЫХ РАСТВОРОВ.....	102		

# Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	4	<b>Guchkin I.S., Bagdoev S.G., Shishkin S.O., Laskov N.N.</b> WAY OF DIRECTIONAL BRICK CHIMNEY DISMANTLING .....	82
<b>Gladkich V.A., Korolev E.V., Husid D.L.</b> STRUCTURE FORMATION OF SULFUR-EXTENDED ASPHALT: INTERACTION OF SULFUR WITH BITUMEN.....	5	<b>Zernov V.V., Zaytsev M.B., Walakin V.A.</b> DEFINITION OF GRADIENT VECTOR OF NATURAL FREQUENCIES OF FLAT ROD SYSTEMS .....	88
<b>Cherkasov V.D., Ushkina V.V.</b> FOAM CONCRETE BASED ON PROTEIN FOAMING AGENT FROM WET DISTILLERS GRAINS.....	12	<b>Guchkin I.S., Artyushin D.V., Laskov N.N.</b> STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE RIDGE SLABS OF ENGINEERING BUILDING COVERING .....	93
<b>Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gaifullin A.R.</b> INFLUENCE OF GLINITE ADDITIVE TO PORTLANDCEMENT ON THE WATER ABSORPTION OF THE HARDENED CEMENT PASTE.....	18	ENGINEERING SYSTEMS.....	98
<b>Nizina T.A., Balykov A.S.</b> ANALYSIS OF COMBINED EFFECT OF MODIFIER ADDITIVES AND PARTICULATE REINFORCEMENT ON PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FINE-GRAINED CONCRETES .....	25	<b>Danilov A.M., Garkina I.A.</b> DESIGN SYSTEM OBJECTS: SIMULATION, CONTROL.....	98
<b>Nizina T.A., Inin A.E.</b> ENERGY EFFICIENT LIQUID THERMAL INSULATION COATINGS BASED ON HOLLOW MICROSPHERES AND FINELY DIVIDED MINERAL FILLERS .....	33	<b>Andreev S.Yu., Garkina I.A., Poluboyarinov P.A., Knyazev V.A.</b> NEW TECHNOLOGY OF DECONTAMINATION HIGHLY CONCENTRATED COPPER-CONTAINING ETCHANT WASTE SOLUTIONS .....	102
<b>Zhernovski V.I., Loganina V.I., Kislitsina S.N., Frolov M.V.</b> LIME COMPOSITES STRUCTURE FORMATION IN THE PRESENCE OF CALCIUM SILICATE AND ALUMINUM SILICATE .....	42	<b>Danilov A.M., Garkina I.A.</b> APPROACH TO THE ANALYSIS AND SYNTHESIS OF ERGATIC SYSTEMS .....	109
<b>Loganina V.I., Pyshkina I.S., Tolushov S.A., Boldyrev S.A.</b> OPTIMIZATION OF SYNTHESIS MODE OF SILICATE ADDITIVE BASED ON LIME DRY MIXES .....	48	<b>Kuzina V.V.</b> INTERFACE SUBSYSTEM OF INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS AND GRAPHIC DESCRIPTION OF WATER RESOURCES OF THE REGION .....	115
<b>Kochetkova M.V., Shcheglova A.S.</b> KINETICS OF HARDENING POLYMER-CEMENT MORTAR ON POROUS SURFACE.....	52	ARCHITECTURE .....	120
<b>Gusev N.I., Chernyshova N.A.</b> RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER-CEMENT MORTAR ON SYNTHETIC LATEX.....	56	<b>Kovalev D.S.</b> APARTMENTS FOR HIGH AND MEDIUM CONSUMER LEVEL IN THE CENTRAL DISTRICTS OF ST. PETERSBURG: DIFFERENTIATION OF FUNCTIONAL PLANNING CHARACTERISTICS .....	120
<b>Gusev N.I., Kochetkova M.V.</b> STRUCTURE FORMATION OF POLYMER CEMENT MORTAR .....	60	<b>Borisov S.V.</b> THE BELL TOWER AS AN ELEMENT OF AN ORTHODOX CHURCH, INFLUENCING ITS VOLUME AND SPATIAL.....	126
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	65	ECONOMICS AND MANAGEMENT..	132
<b>Tsimbelman N.Y., Chernova T.I., Shmykov A.A.</b> PARAMETERS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF SHELL STRUCTURES WITH INFILL.....	66	<b>Uchaeva T.V.</b> ECONOMIC EVALUATION THE QUALITY OF DYEING BUILDING PRODUCTS AND DESIGNS .....	132
<b>Murashkin V.G.</b> METHODOLOGY FOR CALCULATING OF STRENGTH GROWTH OF CONCRETE AT PREDICTING RESOURCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES .....	74	<b>Kuchigina S.K., Sukhanova T.V.</b> THE MAIN ASPECTS OF FORMATION REGIONAL ORIENTED LABOR MARKET OF YOUNG SPECIALISTS (ON THE EXAMPLE OF PENZA REGION) .....	137
		<b>Reznik S.D.</b> ORDER: HOW TO FORMULATE IT SO THAT THE SUBORDINATE COULD AND WANTED TO EXECUTE IT.....	141

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.16 + 661.1

*Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет*

Россия, 129337, г. Москва,  
Ярославское шоссе, д.26,  
тел: +7 (495) 781-80-07

**Гладких Виталий Александрович**,  
инженер научно-образовательного центра  
по направлению «Наноматериалы  
и нанотехнологии»  
E-mail.ru: gladkich\_87@mail.ru

**Королев Евгений Валерьевич**,  
доктор технических наук, советник РААСН,  
директор научно-образовательного центра  
по направлению «Наноматериалы и  
нанотехнологии»  
E-mail.ru: korolev@nocnt.ru

**Хусид Дмитрий Леонидович**,  
аспирант кафедры «Технология вяжущих  
веществ и бетонов»

*Moscow State University of Civil Engineering*

Russia, 129337, Moscow, 26,  
Yaroslavskoe shosse  
tel:+7 (495) 781-80-07

**Gladkich Vitaliy Aleksandrovich**,  
Engineer of Research and Education Center  
«Nanomaterials and nanotechnology»  
E-mail.ru: gladkich\_87@mail.ru

**Korolev Evgeniy Valeryevich**,  
Professor, Adviser of the Russian Academy of  
Architectural and Building Sciences, Director  
of Research and Education Center  
«Nanomaterials and nanotechnology»  
E-mail.ru: korolev@nocnt.ru

**Husid Dmitrij Leonidovich**,  
Postgraduate of the department «Technology  
binders and concretes»

### СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОНА: МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕРЫ С БИТУМОМ

В.А. Гладких, Е.В. Королев, Д.Л. Хусид

Рассмотрены результаты исследования взаимодействия серы с нефтяным битумом в процессе производства сероасфальтобетонных смесей. Представленные результаты показывают, что при температуре не более 145 °С при добавлении серы в расплав нефтяного битума образования новых соединений не происходит. При указанной температуре сера частично растворяется в расплаве нефтяного битума, а затем при охлаждении кристаллизуется, выделяясь в отдельную фазу.

*Ключевые слова:* асфальтобетон, сероасфальтобетон, сера, нефтяной битум, серобитумное вяжущее

## STRUCTURE FORMATION OF SULFUR-EXTENDED ASPHALT: INTERACTION OF SULFUR WITH BITUMEN

V.A. Gladkich, E.V. Korolev, D.L. Husid

The results of researching of the interaction of sulfur with bitumen during production of sulfur-extended mixtures are examined. These results demonstrate that at temperatures not exceeding 145 °C upon addition of sulfur to the melt of bitumen formation of new compounds doesn't occur. At this temperature, sulfur is partially dissolved in the melt of bitumen, and then crystallize when cooled, forming a separate phase.

*Keywords: asphalt concrete, sulfur-extended asphalt, sulfur, petroleum bitumen, sulfur-bituminous binder*

Асфальтобетоны, модифицированные серосодержащими добавками и получившие название в технической литературе «сероасфальтобетоны», имеют повышенные показатели физико-механических и эксплуатационных свойств [1-9]. В работах отечественных и зарубежных исследователей установлено, что на свойства сероасфальтобетонов влияют следующие факторы и параметры технологии: температура взаимодействия серы с нефтяным битумом; содержание серы; структурно-реологический тип нефтяного битума; агрегатное состояние серы при введении в нефтяной битум; интенсивность и продолжительность перемешивания. Однако в настоящее время отсутствует единое представление о механизме взаимодействия серы и нефтяного битума, а имеющиеся сведения поверхностны и часто противоречивы. Очевидно, что установление механизма взаимодействия серы с нефтяным битумом является актуальной научной задачей, решение которой позволит получить новые научные знания, а также установить рецептурно-технологические факторы, обеспечивающие управление структурообразованием и получение сероасфальтобетонов с требуемыми параметрами качества.

Для установления механизма взаимодействия серы и нефтяного битума при технологических температурах изготовления сероасфальтобетона (не более 145 °C) были проведены исследования серобитумного вяжущего, содержащего 10 и 30 % серы. Образцы серобитумного вяжущего готовили при температуре 145 °C. Использовали нефтяной битум марки БНД 60/90, свойства которого приведены в табл. 1, а также техническую серу, соответствующую требованиям ГОСТ 127.1–93 «Сера техническая. Технические условия» (табл. 2). Исследования проводили с применением взаимодополняющих высокоинформативных методов – ИК-Фурье-спектроскопии и рентгенофазового анализа. ИК-спектры получали на ИК-Фурье-спектрометре Cary 630 [10]; регистрацию ИК-спектров проводили на первый, четвёртый и девятый день после изготовления образцов. Рентгенограммы получали на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA на первый (через 2 часа), второй, пятый и четырнадцатый день после изготовления образцов.

Т а б л и ц а 1

Физико-механические показатели битума БНД 60/90

Показатель	Требования ГОСТ 22245–90	Фактическое значение
Глубина проникания иглы при 25 °C, 0,1 мм	61 – 90	69
Глубина проникания иглы при 0 °C, 0,1 мм	Не менее 20	34
Растяжимость при 20 °C, см	Не менее 55	82,7
Растяжимость при 0 °C, см	Не менее 3,5	3,7
Температура размягчения, °C	Не ниже 47	53
Температура хрупкости, °C	Не выше –15	–20
Изменение температуры размягчения после прогрева, °C	Не более 5	5
Индекс пенетрации	От –1,0 до + 1,0	–0,6
Температура вспышки, °C	Не ниже 230	254

Основные свойства технической серы

Наименование показателя	Требование ГОСТ 127.1–93	Фактическое значение
Внешний вид	Гранулы желтого цвета	Гранулы желтого цвета
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Не нормируется	2070
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Не нормируется	1050
Массовая доля серы, %, не менее	99,987	99,99
Массовая доля золы, %, не более	0,02	0,0014
Массовая доля органических веществ, %, не более	0,01	0,0053
Массовая доля кислот в пересчете на серную кислоту, %, не более	0,0015	0,00029
Массовая доля воды, %, не более	0,2	Отсутствует
Механические загрязнения (бумага, дерево, песок и др.)	Не допускается	Отсутствуют

Анализ ИК-спектров (рис. 1) показывает, что при температуре менее 145 °С в системе «нефтяной битум – сера» не наблюдается изменения химического состава нефтяного битума и образования новых соединений: установлено незначительное изменение интенсивности в диапазонах волновых чисел 1000–1200 см<sup>-1</sup> и 1500–1800 см<sup>-1</sup>.

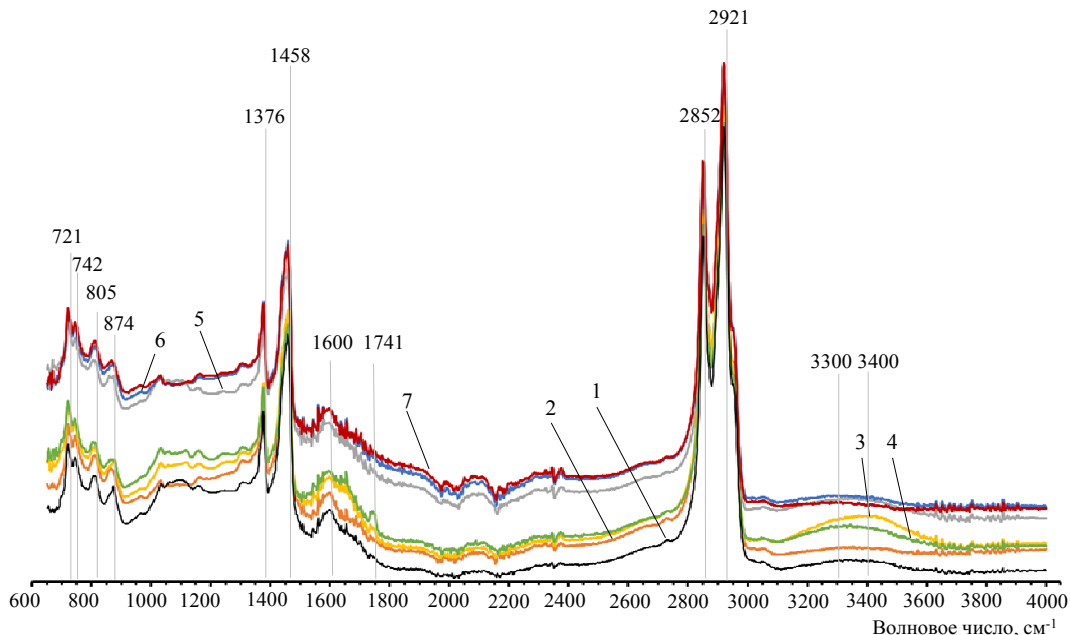


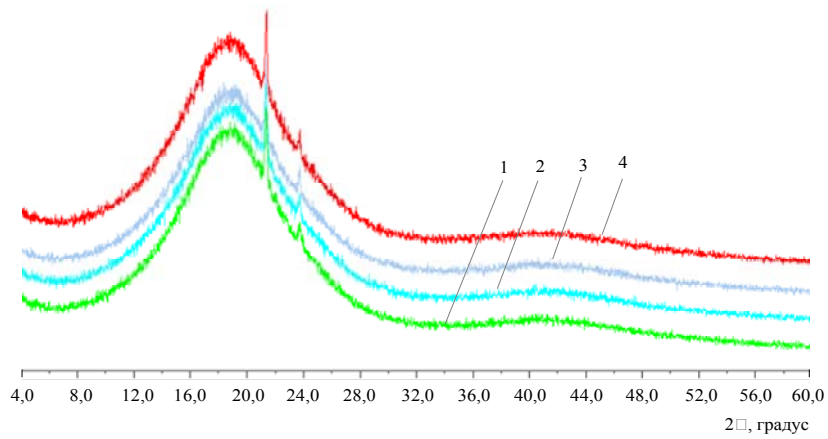
Рис. 1. ИК-спектры битума БНД 60/90 и серобитумных вяжущих:  
 1 – битум БНД 60/90; 2 – СБВ с 10 %-м содержанием серы – 1-й день; 3 и 4 – то же, 4 и 9-й день, соответственно; 5 – СБВ с 30 %-м содержанием серы – 1-й день; 6 и 7 – то же, 4 и 9-й день, соответственно

Аналогичные результаты представлены в работе [5]. На всех полученных ИК-спектрах присутствуют характерные для нефтяных битумов интенсивные полосы в области  $2852$  и  $2921\text{ см}^{-1}$  (валентные колебания СН в группах  $\text{CH}_2$ , свидетельствующие о значительном количестве ароматических углеводородов в составе битума [11, 12]) и полосы поглощения в области  $1458\text{ см}^{-1}$  (деформационные колебания  $\delta(\text{CH}_2)$ ) и  $1376\text{ см}^{-1}$  (деформационные колебания  $\delta(\text{CH}_3)$ ). Указанные полосы всегда присутствуют в спектрах предельных углеводородов, парафинов, масел [11, 13]. На всех спектрах видна полоса при  $721\text{ см}^{-1}$ , соответствующая деформационным колебаниям группы  $\text{CH}_2$  в парафиновых цепях. Проявляющийся триплет  $742$ ;  $805$  и  $874\text{ см}^{-1}$  (внеплоскостные деформационные колебания СН) свидетельствует о присутствии ароматических соединений. Также на спектрах нефтяного битума и серобитумного вяжущего проявляется полоса при  $1600\text{ см}^{-1}$ , характеризующая валентные колебания  $\text{C}=\text{C}$  связей. Сложная структура данной полосы свидетельствует о широком распределении по составу ароматических соединений – асфальтенов – в нефтяных битумах [13]. Анализ ИК-спектров показывает, что в составе нефтяного битума и серобитумного вяжущего с 10 %-м содержанием серы присутствует связанная вода: широкие полосы с максимумами в области  $3300\text{--}3400\text{ см}^{-1}$ , характерными для валентных  $\nu_{\text{O-H}}$  колебаний гидроксильных групп, участвующих в образовании межмолекулярных водородных связей. В то же время на ИК-спектре серобитумного вяжущего с 30 %-м содержанием серы указанные пики выражены менее интенсивно, что свидетельствует о меньшем содержании воды. На спектрах нефтяного битума, серобитумного вяжущего с 10 и 30 %-м содержанием серы определяется кислородосодержащая карбонильная функциональная группа (сложная полоса поглощения  $1741\text{--}1745\text{ см}^{-1}$ ), обусловленная колебаниями  $\text{C}=\text{O}$ -групп. Таким образом, сопоставление ИК-спектров нефтяного битума и серобитумного вяжущего с 10 и 30 %-м содержанием серы показывает, что появления новых максимумов не наблюдается и нет существенных различий в расположении основных максимумов.

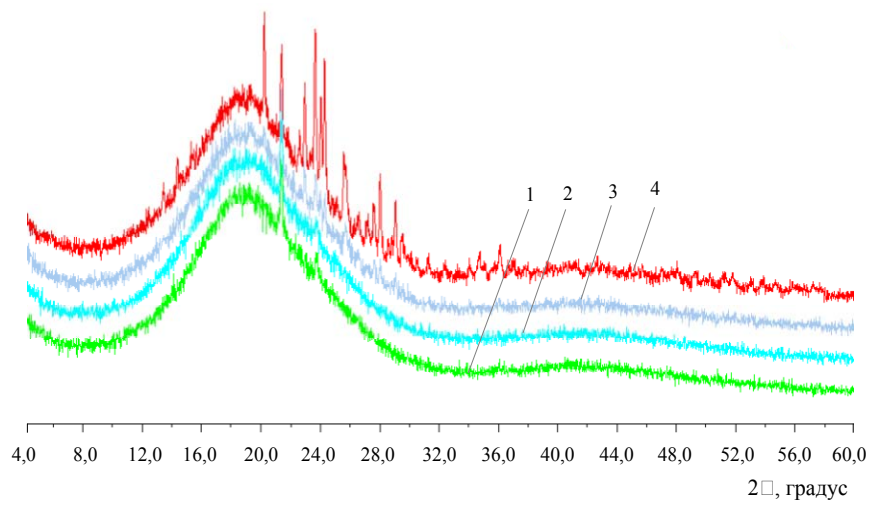
Исследования фазового состава серобитумного вяжущего методом рентгенофазового анализа также показали, что при температуре приготовления менее  $145\text{ }^\circ\text{C}$  не образуется новых соединений. Так, на рентгенограмме нефтяного битума (рис. 2, а), снятой в 1; 2; 5 и 14-е сутки, идентифицируются только два пика, характерные для вещества, имеющего поликристаллическую структуру. Однозначная идентификация указанного кристаллического соединения по двум дифракционным линиям невозможна, но, предположительно, указанные максимумы принадлежат *n*-парафину  $(\text{CH}_2)_n$  (см. рис. 2, а).

Сопоставление рентгенограмм серобитумного вяжущего с 10 %-м содержанием серы (рис. 2, б) после 2-х часов с момента изготовления и нефтяного битума показывает их полную идентичность, то есть на рентгенограмме серобитумного вяжущего полностью отсутствуют характерные пики серы, на 5-е сутки появляются характерные пики серы, а на 14-е сутки с момента изготовления – интенсивность указанных пиков увеличивается (рис. 2, б; 3, б). На рентгенограмме серобитумного вяжущего с 30 %-м содержанием серы, полученной в 1; 2; 5 и 14-е сутки с момента изготовления, наблюдаются характерные пики серы, причем их интенсивность с течением времени увеличивается незначительно (рис. 2, в; 3, в). Отсюда можно сделать вывод о том, что часть серы растворяется в расплаве нефтяного битума и впоследствии в процессе охлаждения выделяется из расплава в самостоятельную фазу, а затем кристаллизуется (в основном в  $\beta$ -модификации серы). При 10 %-м содержании серы отмечается формирование также  $\alpha$ -серы. Это указывает на более медленное выделение серы из нефтяного битума, что обеспечивает формирование устойчивой при обычной температуре  $\alpha$ -модификации серы.

а



б



в

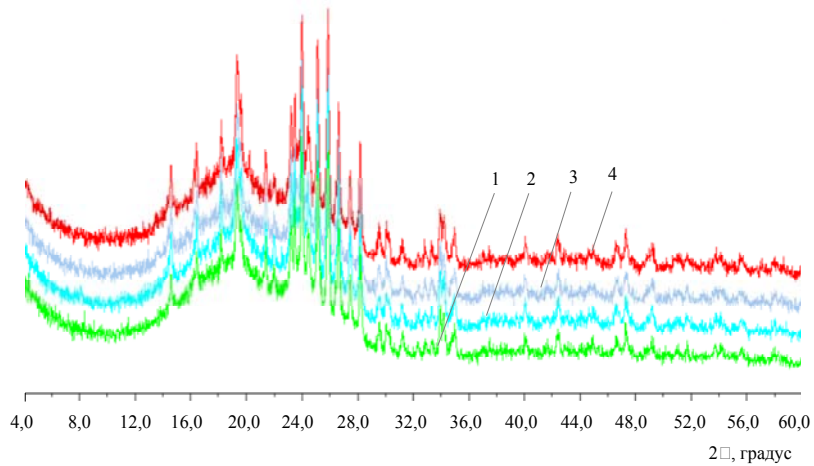
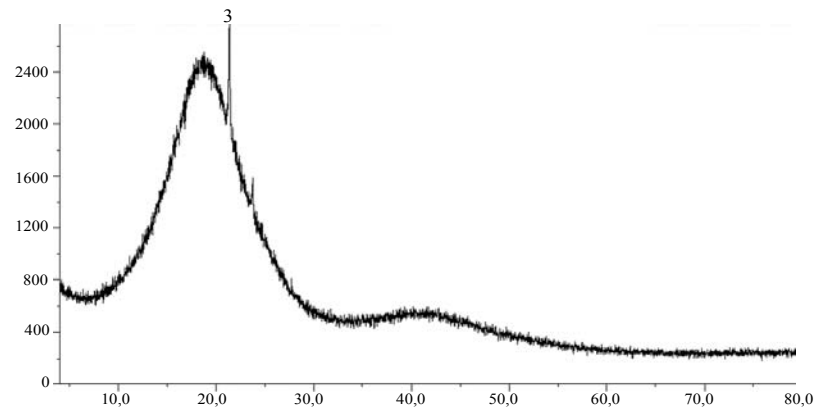


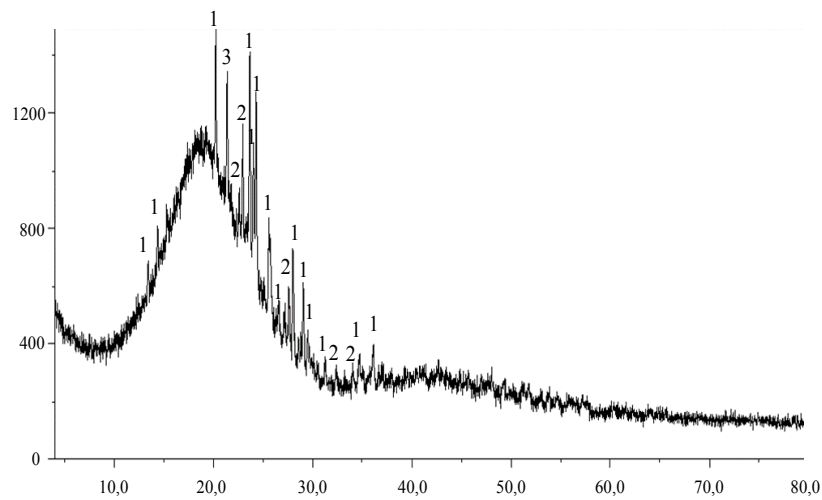
Рис. 2. Рентгенограммы битума и серобитумного вяжущего:  
 а – битума БНД 60/90; б – серобитумного вяжущего с 10 %-м содержанием серы; в – то же  
 с 30 %-м содержанием серы; 1 – первый день; 2 – второй день; 3 – пятый день,  
 4 – четырнадцатый день



а



б



в

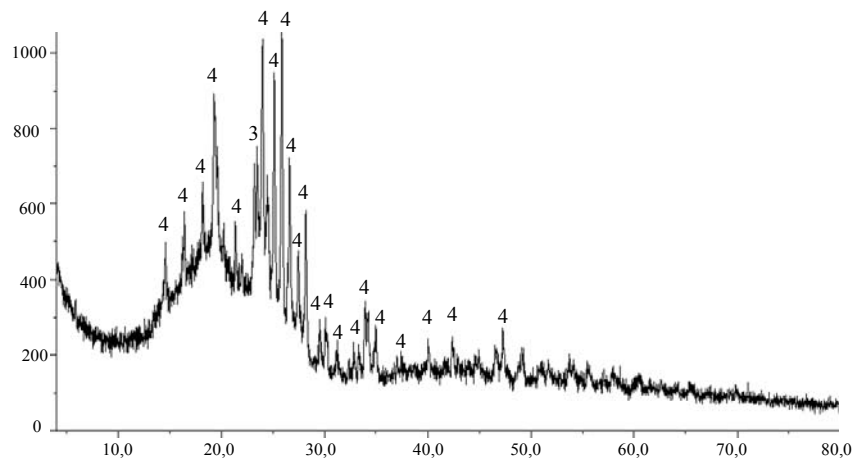


Рис. 3. Рентгенограммы битума и серобитумного вяжущего, снятые на 14-е сутки:  
 а – битума БНД 60/90; б – серобитумного вяжущего с 10 %-м содержанием серы;  
 в – то же с 30 %-м содержанием серы;  
 1 – моноклинная сера ( $d = 4,392; 3,763; 3,701; 3,662; 3,475 \text{ \AA}$ ); 2 – ромбическая сера  
 ( $d = 5,785; 3,932; 3,881; 3,279; 3,233 \text{ \AA}$ ); 3 – дифракционное отражение относится к битуму  
 и, предположительно, в образце может присутствовать  $n$ -парафин ( $\text{CH}_2$ ) $_n$  ( $d=4,162 \text{ \AA}$ );  
 4 – моноклинная сера ( $d = 4,579; 3,709; 3,541; 3,448; 3,349 \text{ \AA}$ )

Таким образом, изучение процессов взаимодействия серы с компонентами битума показывает, что при температурах менее 145 °С образования новых соединений не происходит: на ИК-спектрах появления новых максимумов не наблюдается и нет существенных различий в расположении основных максимумов. Исследования фазового состава серобитумного вяжущего методом рентгенофазового анализа также показали, что при температуре приготовления менее 145 °С не образуется новых соединений. Сера частично растворяется в расплаве битума, а затем в зависимости от содержания в расплаве выделяется в отдельную фазу, которая кристаллизуется в  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификациях серы. Такая особенность структурообразования серобитумных вяжущих закономерно будет оказывать влияние на процессы структурообразования сероасфальтобетонов, а следовательно, указывает на необходимость установления кинетических зависимостей формирования эксплуатационных свойств таких композитов.

### Список литературы

1. Руденская, И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1984. – 229 с.
2. Оценка качества смеси и конструкционной прочности дорожных покрытий при использовании / Д. Тимм [и др.] // ShellThioave: отчет НЦАТ 09-05 / Университет Оберн, 2009.
3. Гладких, В.А. Асфальтобетоны, модифицированные комплексной добавкой на основе технической серы и нейтрализаторов эмиссии токсичных газов / В.А. Гладких, Е.В. Королев, Д.Л. Хусид // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2015. – №3 (194). – С.30–33.
4. Гладких, В.А. Техничко-экономическая эффективность применения сероасфальтобетонов / В.А. Гладких, Е.В. Королев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 4. – С. 76–83.
5. Веренько, В.А. Влияние элементарной серы на структуру органических вяжущих и бетонов / В.А. Веренько, И.К. Яцевич // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов: материалы III Всесоюзного совещания. – Харьков, 1983. – С. 45-46.
6. Фомин, А.Ю. Применение серы в производстве дорожно-строительных материалов / А.Ю.Фомин, В.Г.Хозин // Строительные материалы. – М., 2009. – № 11. – С. 20–23.
7. Алехина, М.Н. Сероасфальтобетонные смеси / М.Н. Алехина, Ю.Э. Васильев, Н.В. Мотин, И.Ю. Сарычев // Строительные материалы. – 2011. – №10. – С.12–13.
8. Kennedy, T.W. An engineering evaluation of sulphur-asphalt mixtures / T.W. Kennedy, R. Naas, P. Smith // 56-th Agg. Meeting of T.R.B. Jan. – 1977. – P. 146–170.
9. Alama, K. Mieshanki mineralo-iarkowo-asfaltowe (MSA) / K. Alama, D. Gayer // Pracy Instytutu drog i mostow. – Warszawa, 1981. – № 3. – P. 60–80.
10. ИК-Фурье спектрометр Cary 630. – URL: <http://www.nocnt.ru/oborudovanie/laboratoriya-issledovaniya-fiziko-khimicheskikh-svoystv/377-ik-fure-spektrometr-cary-630> (дата обращения: 30.09.2015).
11. Беллами, Л. Дж. Инфракрасные спектры сложных молекул / Л. Дж. Беллами. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 590 с.
12. Шевченко, В.А. Органоминеральные композиции для ремонта покрытий автомобильных дорог: монография / В.А. Шевченко, В.П. Киселев, Л.А. Иванова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011.
13. Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами / Д.А. Аюпов [и др.] // Известия КазГАСУ. – Казань, 2011. – № 1 (15). – С. 140–145.

### References

1. Rudenskaja, I.M. The organic binders for road construction / I.M. Rudenskaja, A.V. Rudenskij. – M.: Transport, 1984. – 229 с.

2. Evaluation of the quality of the mixture and the structural strength of pavements using / D. Timm [etc.] // Shell Thioave Report NZAT 09-05: Auburn University, 2009.
3. Gladkich, V.A. Asphalt-modified complex additive on the basis of technical sulfur and emission of toxic gas neutralizers / V.A. Gladkich, E.V. Korolev, D.L. Husid // Building materials, equipment, technologies of XXI century. – 2015. – №3 (194). – P.30–33.
4. Gladkich, V.A. Technical and economic efficiency of sulfur-extended asphalt / V.A. Gladkich, E.V. Korolev // Messenger of MGSU. – 2013. – № 4. – P. 76–83.
5. Verenko, V.A. Effect of elemental sulfur on the structure of organic binders and concretes / V.A. Verenko, I. K. Yacevich // Management structure formation, structure and properties of concrete road: materials of the III All-Union Conference. Harkov, 1983. – P. 45–46.
6. Fomin, A.Y. The use of sulfur in the production of road-construction materials / A.Y. Fomin, V.G. Hozin // Construction Materials. – M., 2009. – № 11. – P. 20–23.
7. Alekhina, M.N. Sulfur-asphalt mixtures / M.N. Alekhina, Yu.Eh. Vasilev, N.V. Motin, I. Yu. Sarychev // Construction Materials. – 2011. – №10. – C.12–13.
8. Kennedy, T.W. An engineering evaluation of sulphur-asphalt mixtures / T.W. Kennedy, R. Haas, P. Smith // 56-th Agg, Meeting of T.R.B. Jan. – 1977. – P. 146–170.
9. Alama, K. Mieshanki mineralo-iarkowo-asfaltowe (MSA) / K. Alama, D. Gayer // Pracy Instytutu drog i mostow. – Warszawa, 1981. – № 3. – P. 60–80.
10. FT-IR Spectrometer Cary 630. – URL: <http://www.nocnt.ru/oborudovanie/laboratoriya-issledovaniya-fiziko-khimicheskikh-svoystv/377-ik-fure-spektrometr-cary-630> (date of the application: 30.09.2015).
11. Bellami, L.-Dzh. Infrared spectra of complex molecules / L.-Dzh. Bellami. – M.: Foreign Literature Publishing House 1963. – 590 c.
12. Ivanova, L.A. Organic-coating composition for repair of roads: monograph / V.A. Shevchenko, V.P. Kiselev, L. A. Ivanova. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2011.
13. A study of the interaction of bitumen with polymers / D.A. Ayupov [etc.] // News KSUAE. – Kazan, 2011. – № 1 (15). – P. 140–145.

УДК 693.542.4

Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева

Россия, 430005, г. Саранск,  
ул. Большевикская, д. 68  
тел.: (8342) 47-37-13

**Черкасов Василий Дмитриевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Прикладная механика»  
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

**Ушкина Виктория Валентиновна**,  
аспирант кафедры «Прикладная механика»  
E-mail: ntaevv@mail.ru

Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev  
Russia, 430005, Saransk, 68,  
Bolshevistskaya St.,  
tel.: (8342) 47-37-13

**Cherkasov Vasily Dmitrievich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Head of the  
department «Applied mechanics»  
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

**Ushkina Victoria Valentinovna**,  
Postgraduate of the department «Applied  
mechanics»  
E-mail: ntaevv@mail.ru

## ПЕНОБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ БЕЛКОВОГО ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ ИЗ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ

В.Д. Черкасов, В.В. Ушкина

Приведены данные о прочности образцов пенобетона после 28 суток твердения, полученных на основе нового белкового пенообразователя микробного синтеза. Подобраны составы пенобетона плотностью 300, 500 и 700 кг/м<sup>3</sup>.

*Ключевые слова:* пенобетон, белковый пенообразователь, свойства, режимы приготовления

### FOAM CONCRETE BASED ON PROTEIN FOAMING AGENT FROM WET DISTILLERS GRAINS

V. D. Cherkasov, V. V. Ushkina

The article presents data on the strength of the foam concrete samples after 28 days of hardening that were based on new protein foaming agent of microbial synthesis. Compositions of foam concrete density of 300, 500 and 700 kg / m<sup>3</sup> were selected.

*Keywords:* foam concrete, foaming agent, properties, preparation mode

Прочность пенобетонов зависит главным образом от свойств используемых материалов: марки и активности цемента, дисперсности наполнителя, стойкости пены и кратности пенообразующего раствора. Высокотемпературная обработка на стадии твердения позволяет получить пенобетон высокого качества, но приводит к резкому удорожанию материала. Этим объясняется обилие исследовательских работ, посвященных решению проблемы увеличения прочности неавтоклавного бетона. В обзоре [1] показано, что прочность пенобетона варьируется в широких пределах в зависимости от плотности и используемых модификаторов. С этой целью могут быть использованы ускорители твердения, тонкодисперсные и армирующие добавки (фибра). Однако грамотный подбор базовых компонентов, в том числе пенообразователя, позволяет повысить прочность бездобавочного состава. Номенклатура используемых пенообразующих добавок расширяется, поэтому актуальной является задача разработки составов пенобетонов на их основе и исследование их свойств.

В качестве пенообразователя взят новый белковый пенообразователь микробного синтеза, полученный на основе послеспиртовой барды [2], наполнитель – известковая мука.

Подбор составов пенобетонов начинался с определения водотвердого отношения для обеспечения необходимой подвижности растворной смеси (табл. 1).

Значения водотвердого отношения для составов, содержащих разное количество наполнителя

Плотность пенобетона, кг/м <sup>3</sup>	Диаметр по Сутгарду, см	Водотвердое отношение при содержании наполнителя, %					
		10	20	30	40	50	60
300	38	0,61	0,64	0,68	0,71	0,76	0,80
500	30	0,51	0,55	0,59	0,62	0,65	0,68
700	22	0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60

Одной из главных проблем при разработке неавтоклавных пенобетонов является тот факт, что пенобетонная масса подвергается осадке в процессе твердения, что приводит к изменению плотности. Проведены исследования влияния наполнителя на осадку пенобетонной массы (рис. 1).

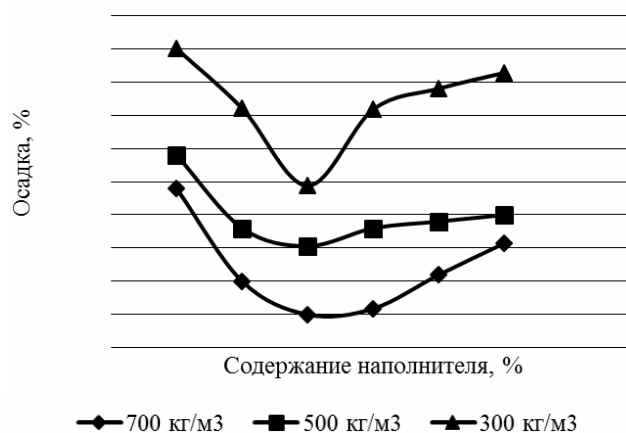


Рис. 1. Осадка пенобетона

Как видно из приведенных данных, точка с минимальной осадкой соответствует содержанию наполнителя 30 %.

На прочность пенобетона влияют не только его состав, но и условия его приготовления, такие, как время перемешивания, скорость вращения мешалки и т.д. При высокой скорости вращения происходит разрушение структуры пены и плотность итогового пенобетона возрастает. Опытным путем был подобран режим работы мешалки, обеспечивающий полное промешивание смеси при сохранении плотности итогового пенобетона (рис. 2). Частота вращения мешалки составила 200 об/мин. Для подбора состава пенобетона был поставлен полный двухфакторный эксперимент. В качестве факторов были выбраны время перемешивания и содержание наполнителя.



Рис. 2. Зависимость прочности пенобетона плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> от скорости вращения вала смесителя при приготовлении пеномассы

Матрица планирования и результаты эксперимента по получению пенобетона плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

## Условия проведения эксперимента и свойства пенобетона

№ п/п	Матрица планирования		Рабочая матрица		Свойства пенобетона			
	$X_1$	$X_2$	$W_n, \%$	$t, \text{мин}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	осадка, %	$R_{сж}, \text{МПа}$	ККК
1	-	-	20	1,5	530	2,7	0,74	2,7
2	-	0	20	3,0	519	1,5	0,72	2,7
3	-	+	20	4,5	566	1,5	1,39	4,3
4	0	-	30	1,5	515	1,7	0,69	2,6
5	0	0	30	3,0	521	1,7	0,92	3,4
6	0	+	30	4,5	534	1,6	0,87	3,0
7	+	-	40	1,5	480	1,7	0,39	1,7
8	+	0	40	3,0	480	1,5	0,50	2,2
9	+	+	40	4,5	493	1,2	0,61	2,5

В результате обработки экспериментальных данных получены следующие аналитические зависимости, описывающие влияние выбранных факторов на параметры пенобетона. Проверка адекватности моделей по критерию Фишера показала соответствие расчетных и опытных данных при уровне значимости  $\alpha=0,95$ .

Средняя плотность

$$\rho = 521,000 - 19,500 \cdot X_1 + 9,500 \cdot X_2 - 21,500 \cdot X_1^2 - 5,750 \cdot X_1 X_2 + 3,500 \cdot X_2^2 + 2,750 \cdot X_1^2 X_2 - 11,250 \cdot X_1 X_2^2 + 14,250 \cdot X_1^2 X_2^2.$$

Осадка

$$Y = 1,700 - 0,100 \cdot X_2 - 0,200 \cdot X_1^2 + 0,175 \cdot X_1 X_2 - 0,100 \cdot X_2^2 - 0,325 \cdot X_1^2 X_2 - 0,325 \cdot X_1 X_2^2 + 0,375 \cdot X_1^2 X_2^2.$$

Прочность на сжатие

$$R_{сж} = 0,920 - 0,110 \cdot X_1 + 0,090 \cdot X_2 - 0,310 \cdot X_1^2 - 0,108 \cdot X_1 X_2 - 0,140 \cdot X_2^2 + 0,127 \cdot X_1^2 X_2 - 0,173 \cdot X_1 X_2^2 + 0,312 \cdot X_1^2 X_2^2.$$

Коэффициент конструктивного качества

$$\text{ККК} = 3,400 - 0,250 \cdot X_1 + 0,200 \cdot X_2 - 0,950 \cdot X_1^2 - 0,200 \cdot X_1 X_2 - 0,600 \cdot X_2^2 + 0,400 \cdot X_1^2 X_2 - 0,450 \cdot X_1 X_2^2 + 0,950 \cdot X_1^2 X_2^2.$$

Как видно из полученных зависимостей, прочность и ККК возрастают при увеличении времени перемешивания и снижаются при увеличении содержания наполнителя. Увеличение времени перемешивания и количества наполнителя снижает осадку пеномассы при твердении в течение 28 суток практически в равной степени. Исходя из коэффициентов при соответствующих членах уравнения, плотность итогового пенобетона возрастает при увеличении времени перемешивания и снижается при увеличении содержания наполнителя.

Графические зависимости приведены на рис. 3-6.

На основании эксперимента были выбраны следующие условия получения пенобетона, обеспечивающие максимальную прочность (табл. 3). Как видно из таблицы, количество наполнителя не соответствует условиям минимальной осадки, однако ее значение при выбранном содержании известковой муки является допустимым. Составы пенобетонов приведены в табл. 4.

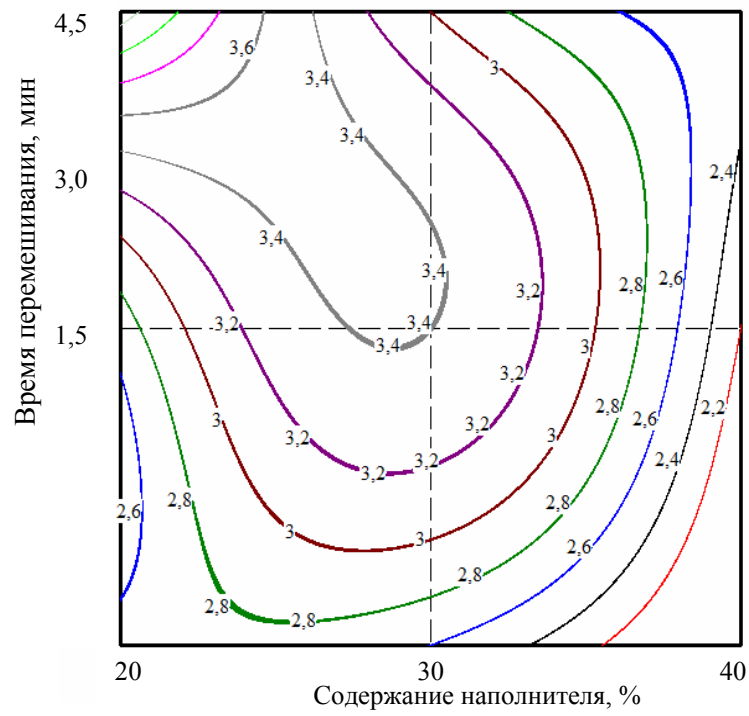


Рис. 3. Зависимость коэффициента конструктивного качества от количества наполнителя и времени перемешивания пеномассы

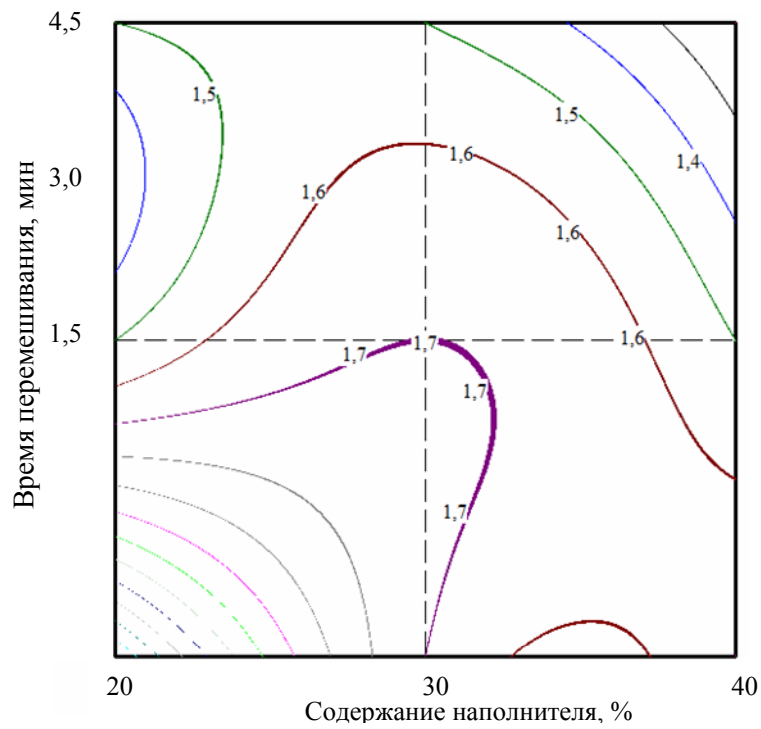


Рис. 4. Зависимость осадки от количества наполнителя и времени перемешивания пеномассы

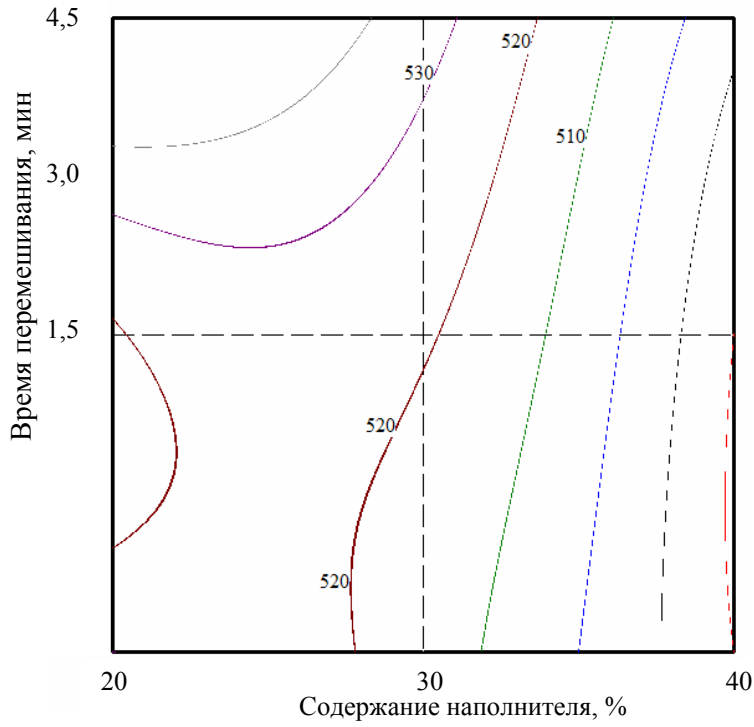


Рис. 5. Зависимость плотности от количества наполнителя и времени перемешивания пеномассы

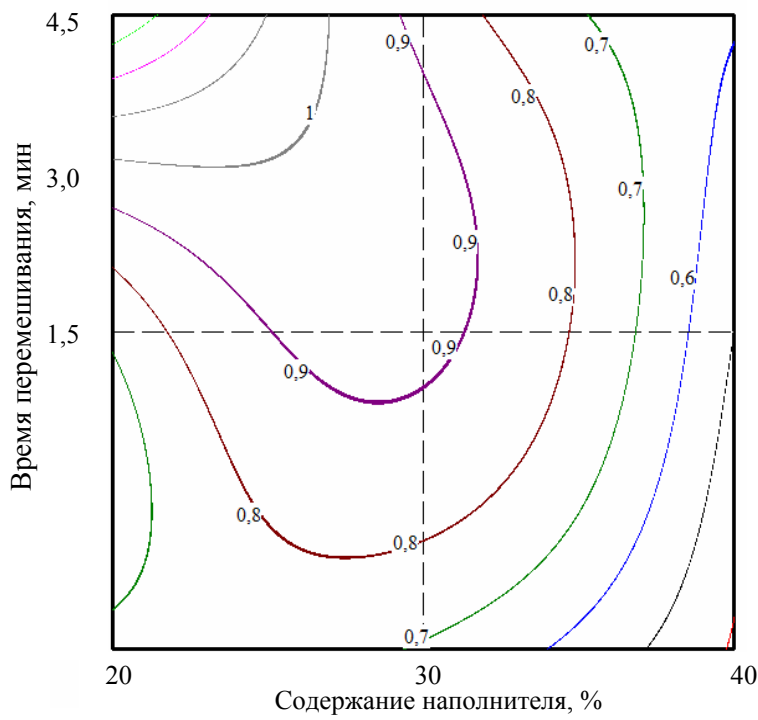


Рис. 6. Зависимость прочности на сжатие (МПа) от количества наполнителя и времени перемешивания пеномассы



Условия получения пенобетона, обеспечивающие максимальную прочность

Плотность пенобетона, кг/м <sup>3</sup>	Количество наполнителя, %	Время перемешивания, мин	Прочность на сжатие, МПа
300	20	4,5	0,5
500	20	4,5	1,4
700	20	3	2,3

Состав для приготовления 1 м<sup>3</sup> пенобетона

Материалы	Плотность пенобетона, кг/м <sup>3</sup>		
	300	500	700
Цемент, кг	209	348	487
Известковая мука, кг	52	87	122
Вода, кг	167	239	304
Гидролизат, л	12,0	10,1	8,3
Стабилизатор (раствор сульфата железа III 20 %), л	0,9	0,8	0,6
Вода для приготовления пенообразователя, л	47,0	39,4	32,5

Таким образом, показана возможность получения неавтоклавного бетона теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного назначения с использованием нового белкового пенообразователя.

#### Выводы

1. Подобрано время приготовления пеномассы для пенобетонов с плотностью 300, 500 и 700 кг/м<sup>3</sup>. Оно составило 3-4,5 минуты. Время необходимо увеличивать при уменьшении плотности пенобетона.
2. Составы с наибольшей прочностью получены при содержании наполнителя 20 %. Осадка при этом не превышает допустимых значений.
3. Произведены расчет составов и исследование свойств пенобетонов. Показано, что образцы имеют достаточную прочность.

#### Список литературы

1. Шлегель, И.Ф. К вопросу оценки качества ячеистых бетонов / И.Ф. Шлегель, А.Н. Булгаков, Ю.Г. Афанасьев // Строительные материалы. – 2003. – №6. – С. 13–15.
2. Черкасов, В.Д. Белковый пенообразователь на основе продуктов микробного синтеза для производства ячеистых бетонов / В.Д. Черкасов, В.В. Ушкина // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №2. – С. 51–56.

#### References

1. Schlegel, I.F. On the question of assessing the quality of cellular concrete / J.F. Schlegel, A.N. Bulgakov, Y.G. Afanasiev // Building materials. – 2003. – №6. – P. 13–15.
2. Cherkasov, V.D. Protein foam generator on the basis of microbe synthesis products for cellular concrete productions / V.D. Cherkasov, V.V. Ushkina // Regional architecture and engineering. – 2015. – №2. – P. 51–56.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, Респ. Татарстан, 420043,  
Казань, Зеленая ул., 1,  
тел./ факс: +7 (843) 510-46-01

**Рахимов Равиль Зуфарович**,  
доктор технических наук, профессор,  
зав.кафедрой «Строительные материалы»  
E-mail: rachimov@ksaba.ru

**Рахимова Наиля Равилевна**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Строительные материалы»  
E-mail: rachimova.07@list.ru

**Гайфуллин Альберт Ринатович**,  
кандидат технических наук, старший  
преподаватель кафедры «Строительные  
материалы»  
E-mail: 447044@list.ru

Kazan State University of Architecture  
and Construction

Russia, Republic. Tatarstan, 420043,  
Kazan, 1, Zelyonaya St.  
tel. / fax: +7 (843) 510-46-01

**Rakhimov Ravil Zufarovich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Head of the  
department «Building materials»  
E-mail: rachimov@ksaba.ru

**Rakhimova Naila Ravilevna**,  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Building materials»  
E-mail: rachimova.07@list.ru

**Gaifullin Albert Rinatovich**,  
Candidate of Sciences, Senior Lecturer of the  
department «Building materials»  
E-mail: 447044@list.ru

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ГЛИНИТОВ В ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Р.З. Рахимов, Н. Р. Рахимова, А. Р. Гайфуллин

Приведены результаты сравнительных исследований влияния добавок в портландцемент прокаленных и молотых полиминеральных глин с различным содержанием каолинита и с полным отсутствием его и высококачественного метакАОлина на водопоглощение цементного камня. Показано, что на основе распространенных термоактивированных и молотых полиминеральных глин могут быть получены глины, добавки которых в портландцемент по сравнению с аналогичными по содержанию добавками метакАОлина приводят к более низкому водопоглощению цементного камня.

*Ключевые слова:* глинт, глина, прокаливание, помол, минеральный состав, температура, портландцемент, добавка, цементный камень, водопоглощение

## INFLUENCE OF GLINITE ADDITIVE TO PORTLANDCEMENT ON THE WATER ABSORPTION OF THE HARDENED CEMENT PASTE

R.Z. Rakhimov, N.R. Rakhimova, A.R. Gaifullin

The results of comparative studies of the influence of calcined and ground multimineral clays with different content of kaolinite, non-kaolinite clays, and metakaolin on the water absorption of hardened Portland cement paste are given. It is stated that glinites based on calcined and ground widespread multimineral clays when introducing in Portland cement provide lower water absorption of hardened Portland cement paste compared with similar additives of metakaolin.

*Keywords:* glinite, clay, calcination, grinding, mineralogical composition, temperature, Portland cement, additive, cement stone, water absorption

### 1. Введение

Достигнутое к настоящему времени глубокое понимание механизмов гидратации цемента позволило открыть возможность введения в него большой номенклатуры реакционно-активных минеральных добавок. Наиболее известные – доменный шлак и топливная зола – имеются не во всех странах/регионах и в гораздо меньших объемах, чем производится портландцемента. Поэтому замещение клинкера в бетонах может быть достигнуто только за счет сырьевой базы таких минеральных добавок, как

натуральные пуццоланы и термоактивированные глины [1]. Глины – повсеместно распространенное, доступное и дешевое сырье для получения пуццоланов. Термически активированные глины классифицируются европейским стандартом EN197-1-2000 как искусственные пуццоланы. Глинит получают измельчением прокаленных глин при температурах 600-800°C [2, 3]. В последнее время определенное распространение получила одна из разновидностей глинитов – метакаолин (МК), используемый в качестве активной минеральной добавки для повышения физико-технических свойств цементных композитов. МК является продуктом термической обработки мономинеральных каолиновых глин с высоким содержанием минерала каолинита [4-7]. Выявлено, что введение добавок МК в бетонную смесь позволяет [4-7]: улучшить удобоукладываемость, повысить устойчивость к водоотделению, уменьшить водопотребность и расход пластифицирующей добавки, увеличить прочность, снизить усадочные деформации; повысить долговечность, морозостойкость, стойкость к сульфатной, хлоридной, уксусной и щелочной коррозии; обеспечить определенную экономию цемента.

Однако широкому производству и применению МК препятствует ограниченность месторождений и запасов каолиновых глин во многих странах, в том числе и в России. В связи с этим в последнее десятилетие активно ведутся исследования пуццоланической активности глинистых минералов помимо каолинита и возможности использования в качестве активных минеральных добавок прокаленных распространенных глин с различным содержанием каолинита и полным его отсутствием [9-10].

Авторами настоящей работы проведены исследования влияния добавок в портландцемент прокаленных и молотых полиминеральных глин различного химического и минерального состава на прочность при сжатии цементного камня в сравнении с влиянием на него добавок высококачественного МК. При этом было установлено, что добавки в портландцемент отдельных глинитов из полиминеральных глин по сравнению с аналогичными по содержанию добавками высококачественного МК с удельной поверхностью 1200 м<sup>2</sup>/кг в зависимости от температуры прокаливания в диапазоне 400–800°C и тонкости помола в пределах 250-800 м<sup>2</sup>/кг приводят к повышению прочности цементного камня [11-13]. Бетон с добавками МК эффективно применяется в ряде стран с середины 90-х годов прошлого века при строительстве плотин, мостов, градирен [1-4], в которых бетон должен иметь пониженное водопоглощение для обеспечения повышенной долговечности, морозостойкости и стойкости к агрессивным средам конструкций. В связи с этим актуальными являются исследования влияния добавок глинитов на основе полиминеральных глин на водопоглощение цементного камня.

Ниже приведены сравнительные результаты систематических исследований влияния добавок в портландцемент термоактивированных и молотых полиминеральных глин различного минерального состава и высококачественного МК на водопоглощение цементного камня.

## **2. Материалы и методы исследования**

### **А) Материалы для исследования**

а) Для получения глинитов были использованы полиминеральные глины различного химического и минерального состава по названиям месторождений: новоорская (НОГ) в Оренбургской области; нижеуевельская (НУГ) в Челябинской области; арская (АГ), сарай-чекурчинская (СЧГ) и кощаконская (КГ) в Республике Татарстан.

В табл. 1 и 2 приведены химический и минеральный составы исследуемых глин.

б) Метакаолин ВМК производства ООО «Синерго» (Магнитогорск) (ТУ 572901-001-65767184-2010).

Химический состав метакаолина, %: SiO<sub>2</sub> – 51,4; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>42,0; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,8; H<sub>2</sub>O<0,5; п.п.п.<1,0. Удельная поверхность 1200 м<sup>2</sup>/кг.

в) Портландцемент.

Для определения пуццоланической активности глинистых термоактивированных наполнителей использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ПЦ500 Д-0-Н).

Химический состав цемента, масс. %: CaO – 63,0; SiO<sub>2</sub> – 20,5; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,5; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,5; SO<sub>3</sub> – 3,0.

Минералогический состав цемента: C<sub>3</sub>S – 67,0; C<sub>2</sub>S – 11,0; C<sub>3</sub>A – 4,0; C<sub>3</sub>AF – 15,0. Показатели портландцемента: удельная поверхность – 345 см<sup>2</sup>/г (по цементу), насыпная плотность – 1000 г/л, нормальная густота – 26 %, начало схватывания – 2 часа 50 минут, конец схватывания – 4 часа 10 минут.

Т а б л и ц а 1

Химический состав принятых при исследовании глин\*

№ п/п	Разновидность глин	H <sub>2</sub> O	Содержание в % на абсолютную сухую навеску												
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub> /S	ппп	сумма
1	НОГ	0,81	69,18	1,36	19,55	1,32	0,01	0,20	0,42	<0,3	0,92	0,10	<0,05	6,63	99,69
2	НУГ	0,66	66,79	0,98	20,71	1,63	0,04	0,62	0,41	<0,3	0,65	0,08	0,13	7,70	99,73
3	АГ	1,05	73,65	1,47	15,37	2,23	0,01	0,28	0,50	<0,3	0,55	<0,03	<0,05	5,63	99,67
4	СЧГ	3,41	68,52	0,86	13,42	6,18	0,10	1,33	1,66	1,20	1,82	0,09	<0,05	4,62	99,80
5	КГ	4,14	64,50	0,88	13,96	7,30	0,10	2,16	2,18	0,98	1,97	0,11	<0,05	5,66	99,80

\*Количественный химический состав глин определялся с использованием ARLOPTYMX-спектрометра.

Т а б л и ц а 2

Минеральный состав принятых при исследовании глин\*

№ п/п	Разновидность глин	Минеральный состав в %							
		Кварц	Каолинит	Иллит	Слюда	Ортоклаз	Плагиоклаз	Смешанослойный глинистый минерал	Хлорит
1	НОГ	41	51	8	-	-	-	-	-
2	НУГ	33	62	-	4	-	1	-	-
3	АГ	47	40	13	-	-	-	-	-
4	СЧГ	28	-	-	10	7	8	40	4
5	КГ	34	-	-	-	5	14	40	1

\*В структуре иллита до 10 % разбухающих слоев; смешанослойный разбухающий минерал имеет состав СЧГ до 40 % неразбухающих слоев, КГ до 20 %. Расчет произведен на 100 % кристаллической фазы без учета возможного содержания рентгеноаморфной составляющей. РФА глин проведен с использованием дифрактометра D8 Advance фирмы Bruker.

## Б) Методы исследований

а) Термоактивация глин.

Для каждой глины характерна своя оптимальная температура обжига, выше и ниже которой активность продукта падает [2]. Известно утверждение, что чем ниже температура обжига, тем выше активность глинистых материалов, так как при повышенных температурах диффузионный процесс приводит к их рекристаллизации [14].

Переход в активную форму у отдельных глинистых минералов начинается с 320-400 °С и продолжается до 800 °С [3, 15]. В связи с этим исследовалось влияние на свойства цементного камня добавок глинистых минералов, полученных обжигом глин при температурах 400, 600 и 800°С.

Скорость подогрева – соответственно 1,7; 2,5 и 3,3 °С в минуту до температуры изотермической выдержки, которая составила 3 часа.

б) Прокаленные глины подвергались помолу в лабораторной мельнице МПЛ-1 до удельной поверхности 250, 500 и 800 м<sup>2</sup>/кг.

в) Влияние добавок глинистых минералов в портландцемент на коэффициент размягчения цементного камня определялось по результатам испытаний образцов размерами 2×2×2 см. Образцы изготавливались из теста нормальной густоты, которая у бездобавочного цемента составила 26 %, с 5 % добавок глинистых минералов – 27 %, с 10 % добавок глинистых минералов – 27,5 %. При этом использовались разновидности глин с различными температурами

обжига и тонкостью помола. Глиниты вводились в портландцемент в количестве 5, 10, 15 и 20 %.

Образцы выдерживались в течение 24 часов в нормальных условиях, а затем подвергались термообработке в пропарочной камере по режиму: 4 часа – подогрев до 85 °С, 6 часов – изотермическая выдержка, 3 часа – охлаждение до 35-40 °С.

д) Коэффициент размягчения (Кр) цементного камня определялся по показателю отношения прочности при сжатии насыщенного водой образца к прочности при сжатии его в сухом состоянии.

### 3. Результаты исследований и их анализ

В зависимости от содержания в процентах по массе добавок МК водопоглощение цементного камня имело соответственно следующие значения: 0,0 – 1,0 %; 5,0 – 1,7 %; 10,0 – 1,8 %; 15,0 – 1,95 %; 20,0 – 3,0 %.

Т а б л и ц а 3

Водопоглощение цементного камня с добавками прокаленных и молотых глин с удельной поверхностью до 250 м<sup>2</sup>/кг

№ п/п	Добавка, %	Температура прокаливания T, °С	Водопоглощение цементного камня, %, с добавками прокаленных глин				
			НОГ	НУГ	АГ	СЧГ	КГ
1	3	5	6	7	8	9	10
1	-	-	1	1	1	1	1
2	5	400	2,8	2	2	2	2
3	10		3,4	2,1	2,1	2,23	2,3
4	15		3,6	2,3	2,2	2,25	2,6
5	20		3,9	2,9	2,2	2	2,75
6	5	600	1,8	1,21	1,7	1,1	1,25
7	10		2,1	1,32	1,5	1,2	1,4
8	15		2,2	1,47	1,3	1,1	1,56
9	20		2,4	2,5	1,1	1	2,4
10	5	800	2,2	1,11	2,5	1,8	1,1
11	10		2,6	1,19	2,8	1,8	1,15
12	15		2,8	1,32	2,9	1,85	1,25
13	20		3	2,2	2,9	1,75	2,1

Т а б л и ц а 4

Водопоглощение цементного камня с добавками прокаленных и молотых глин с удельной поверхностью до 500 м<sup>2</sup>/кг

№ п/п	Добавка, %	Температура прокаливания T, °С	Водопоглощение цементного камня, %, с добавками прокаленных глин				
			НОГ	НУГ	АГ	СЧГ	КГ
1	-	-	1	1	1	1	1
2	5	400	2	3	2,6	0,8	1,7
3	10		2,3	4	3	0,8	2,29
4	15		2,5	4,4	3	0,8	2,6
5	20		2,9	4,8	3,1	0,9	2,75
6	5	600	1,21	2,3	1,2	1,9	1,45
7	10		1,32	2,55	1,5	2	1,9
8	15		1,47	2,8	1,3	2,1	2,25
9	20		1,9	3,1	1,1	2,1	2,45
10	5	800	2,6	0,85	2	1	2,3
11	10		3,3	0,8	2,4	1,1	2,8
12	15		3,5	0,75	2,5	1,2	3
13	20		3,9	0,75	2,6	1,3	3,2

Водопоглощение цементного камня с добавками прокаленных и молотых глин  
с удельной поверхностью до 800 м<sup>2</sup>/кг

№ п/п	Добавка, %	Температура прокаливания T, °С	Водопоглощение цементного камня, %, с добавками прокаленных глин				
			НОГ	НУГ	АГ	СЧГ	КГ
1	-	-	1	1	1	1	1
2	5	400	3,1	3	1,5	1,6	2,2
3	10		4	3,1	1,6	2,1	2,3
4	15		4,4	4	1,6	2,5	2,45
5	20		4,9	5,5	1,7	3,1	2,7
6	5	600	2,7	2	2,8	2,2	1,8
7	10		3,3	2	3	3,1	2
8	15		3,5	2	3,1	3,7	2,1
9	20		3,9	2,1	3,2	3,9	2,2
10	5	800	1,11	2,4	3,2	1,1	2,45
11	10		1,19	2,6	3,4	1,2	2,55
12	15		1,32	3	3,5	1,3	2,8
13	20		1,8	3,3	3,7	1,4	3,2

В табл. 3-5 приведены результаты исследований изменения водопоглощения цементного камня в зависимости от содержания добавок прокаленных при температурах 400, 600 и 800°С и молотых до удельных поверхностей 250, 500 и 800 м<sup>2</sup>/кг глин, различающихся по химическому и минеральному составам.

Анализ результатов исследований, приведенных в табл. 3-5, позволяет сделать следующие выводы о влиянии добавок прокаленных и молотых глин на водопоглощение цементного камня в сравнении с влиянием на него аналогичных по содержанию добавок высококачественного МК. Из 180 результатов исследования водопоглощения образцов 95 % от их общего количества имели водопоглощение в 1,2-3,9 раза выше, чем водопоглощение цементного камня на бездобавочном цементе (табл. 3-5). Лишь добавки глинистов, полученных прокаливанием двух видов полиминеральных глин при температурах 400 и 800°С, существенно снизили водопоглощение цементного камня.

Так, добавка глиниста нижеуельской глины в количестве от 5 до 15 % с содержанием в ее составе 62 % каолинита с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг, обожженного при температуре 400 °С, уменьшила водопоглощение цементного камня до 0,8-0,9 %. Добавка глиниста из сарай-чекурчинской глины в количестве от 5 до 20 % с удельной поверхностью 500 м<sup>2</sup>/кг, прокаленной при температуре 800 °С, уменьшила водопоглощение цементного камня до 0,75-0,85 %. 47,6 % цементных образцов с добавками от 5 до 20 % глинистов полиминеральных глин имели меньшее водопоглощение по сравнению с образцами камня с аналогичными добавками МК. Добавки от 5 до 15 % всех глинистов принятых при исследованиях глин оказывали приблизительно равные влияния на водопоглощение цементного камня, кроме добавок глинистов сарай-чекурчинской глины; 77,8 % цементных образцов с их добавками имели водопоглощение, меньшее по сравнению с образцами с добавками МК.

#### 4. Заключение

В последнее время в ряде стран активизировались исследования возможности применения в качестве пуццолановых добавок глинистов, получаемых термоактивацией распространенных полиминеральных глин с различным содержанием каолинита.

В настоящей статье приведены результаты исследований по сравнению влияния добавок в портландцемент глинистов из полиминеральных глин и высококачественного метакаолина на водопоглощение цементного камня, которые позволяют сделать следующие выводы.

1. Цементный камень с добавками от 5 до 20 % в портландцемент отдельных разновидностей глинистых на основе каолинитсодержащих и не содержащих каолинит полиминеральных глин, полученных прокаливанием при температурах от 400 до 800 °С и молотых до тонкости помола от 250 до 800 м<sup>2</sup>/кг, имеет меньшее водопоглощение по сравнению с образцами камня с аналогичными добавками метакаолина с удельной поверхностью 1200 м<sup>2</sup>/кг.

2. Продолжение и расширение исследований в предпринятом направлении могут обеспечить создание ресурсо- и энергосберегающих производств получения эффективных пуццоланов на основе распространенных во многих регионах глин для производства бетонов.

#### Список литературы

1. Scrivener, K.L. Hydration of cementations materials, present and future / K.L. Scrivener., A. Nonut // Cement and concrete research. – 2011. – №41. – P.651–665.
2. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества, технология и свойства / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. — М.: Стройиздат, 1979. – 480 с.
3. Глинистый цемент: сборник статей / ВНИИЦ; под ред. В.И. Аксенова. Вып.11. Главн. ред. стр. лит. – М.-Л., 1935. – 171 с.
4. Брыков, А.С. Метакаолин / А.С. Брыков // Цемент и его применение. – 2012. – №7-8. – С.36–41.
5. Advanced Concrete Technology Constituent Materials // Eds J. Newnan, B. S. Chio. – Elsevier, 2003. – 280 p.
6. Concrete Costruction Engineering Handbook // Ed. By E. G. Nawy. – CRC Press, 2008. – 1586 p.
7. Siddigye, R. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete / R. Siddigye, I. Klaus // Applied Clay Science. – 2009. – Vol. 43. №3-4. – P. 392–400.
8. Castello, L.R, Evolution of calcined clay soils as supplementary cementitious materials / L.R. Castello, H.J.F. Hernandes, K.L. Scrivener, M. Antonic // Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement. – Madrid: Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja», 2011. – P.117.
9. He, C. Pozzolanic reactions of six principal clay minirals: Activation, reactivity assessments and technological effects / C. He, B. Osbaeck, E Makovicky // Cement and Concrete Research. – 1995. – № 25. – P. 1961.
10. Ambroise, J. Hydration reaction and hardening of calcined and related minerals: Extension of the research and general conclusions / J. Ambroise, M. Murat, J. Pera // Cement and Concrete Research. – 1985. – №15. – P. 261.
11. Рахимов, Р.З. Свойства цементного камня с добавками глинистого / Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова, А.Р. Гайфуллин //Строительные материалы. – 2015. – №5. – С. 24–26.
12. Рахимов, Р.З. Влияние добавки в портландцемент прокаленной и молотой полиминеральной глины на прочность цементного камня / Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова, А.Р. Гайфуллин // Цемент и его применение. – 2015. – №2. – С. 141–144.
13. Рахимов, Р.З. Влияние добавки в портландцемент прокаленной и молотой глины с содержанием 40 % каолинита на прочность цементного камня / Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова, А.Р. Гайфуллин //Архитектура. – 2015. – №2. – С. 129–131.
14. Канаев, В.К. Новая технология строительной керамики / В.К. Канаев. – М.: Стройиздат, 1990. – 264 с.
15. Langier-Kazniarowa, A. Termogramymineralowilastych / A. Langier-Kazniarowa. – Warchawa, 1967. – 316 p.

#### References

1. Scrivener, K.L. Hydration of cementations materials, present and future / K.L. Scrivener., A. Nonut // Cement and concrete research. – 2011. – №41. – P.651–665.
2. Volgensky, A.V. Mineral binders / A.V. Volgensky, Y.S. Burov, V.S. Kolokolnikov. – М.: Stroyizdat, 1979. – 480 p.

3. Glinite-Cement // Collected articles BNITS / Eds. V.I. Aksenov №11. Publisher of build literat. – M.-L., 1935. – 171 p.
4. Brykov, A.S. Metakaolin / A.S. Brykov // Cement and its application. – 2012. – №7-8. – P.36–41.
5. Advanced Concrete Technology Constituent Materials // Eds J. Newnan, B. S. Chio. – Elsevier, 2003. – 280 p.
6. Concrete Construction Engineering Handbook // Ed. By E. G. Nawy. – CRC Press, 2008. – 1586 p.
7. Siddigye, R. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete / R. Siddigye, I. Klaus // Applied Clay Science. – 2009. – Vol. 43. №3-4. – P. 392–400.
8. Castello, L.R, Evolution of calcined clay soils as supplementary cementitious materials / L.R. Castello, H.J.F. Hernandez, K.L. Scrivener, M. Antonic // Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement. – Madrid: Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja», 2011. – P.117.
9. He, C. Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects / C. He, B. Osbaeck, E Makovicky // Cement and Concrete Research. – 1995. – № 25. – P. 1961.
10. Ambroise, J. Hydration reaction and hardening of calcined and related minerals: Extension of the research and general conclusions / J. Ambroise, M. Murat, J. Pera // Cement and Concrete Research. – 1985. – №15. – P. 261.
11. Rakhimov, R.Z. Properties of cement paste with additives of glinite / R.Z. Rakhimov, N.R. Rakhimova, A.R. Gayfullin // Building Materials. – 2015. – №5. – P. 24–26.
12. Rakhimov, R.Z. Influence of calcined and ground multimineral clay on the strength of hardened Portland cement paste / R.Z. Rakhimov, N.R. Rakhimova, A.R. Gayfullin // Cement and its application. – 2015. – №2. – P. 141–144.
13. Rakhimov, R.Z. Influence of calcined and ground multimineral clay containing 40 % kaolinite on the strength of hardened Portland cement paste / R.Z. Rakhimov, N.R. Rakhimova, A.R. Gayfullin // Architecture. – 2015. – №2. – P. 129–131.
14. Kanaev, V.K. New technology of building ceramics / V.K. Kanaev. – M.: Stroyizdat, 1990. – 264 p.
15. Langier-Kazniarowa, A. Termogramymineralowilastych / A. Langier-Kazniarowa. – Warchawa, 1967. – 316 p.



УДК 666.971.16:366.624

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

Россия, 430005, г. Саранск,  
ул. Большевистская, д. 68,  
тел./факс: (8342) 47-71-56

**Низина Татьяна Анатольевна,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»,  
советник РААСН  
E-mail: nizinata@yandex.ru

**Балыков Артемий Сергеевич,**  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: artbalrun@yandex.ru

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

Russia, 430005, Saransk, 68,  
Bolshevistskayast.,  
Tel./fax: (8342) 47-71-56

**Nizina Tatyana Anatolevna,**  
Doctor of Science, Professor  
of the department «Building structures»,  
Adviser of the Russian Academy  
of Architecture and Construction Sciences  
E-mail: nizinata@yandex.ru

**Balykov Artemy Sergeevich,**  
Postgraduate of the department «Building  
structures»  
E-mail: artbalrun@yandex.ru

## АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК И ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Т.А. Низина, А.С. Балыков

Приведены результаты исследования физико-механических характеристик дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов с полифункциональными модифицирующими добавками. Графическая интерпретация результатов осуществлялась по треугольным диаграммам Гиббса–Розебома, построенным с применением программы Statistica10.0.1011. Проведен анализ наиболее оптимальных комплексов добавок и дисперсных волокон с целью повышения исследуемых характеристик цементных композитов.

*Ключевые слова: дисперсно-армированный мелкозернистый бетон, полифункциональная модифицирующая добавка, дисперсное волокно, плотность в нормальных влажностных условиях, предел прочности на растяжение при изгибе, предел прочности при сжатии, треугольная диаграмма Гиббса–Розебома*

## ANALYSIS OF COMBINED EFFECT OF MODIFIER ADDITIVES AND PARTICULATE REINFORCEMENT ON PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FINE-GRAINED CONCRETES

T.A. Nizina, A.S. Balykov

The results of investigation of physical and mechanical characteristics of disperse-reinforced fine-grained concretes with polyfunctional modifying additives are shown. Graphical interpretation of the results was carried out on Gibbs–Roseboom triangular diagrams built with the use of Statistica 10.0.1011. The analysis of the most optimal complexes additives and dispersed fibers for the purpose of increasing the investigated characteristics of cement composites was made.

*Keywords: disperse-reinforced fine-grained concrete, polyfunctional modifying additive, dispersed fiber, density at normal humidity conditions, limit of tensile strength in bending, limit of compressive strength, Gibbs–Roseboom triangular diagram*

Бетон является гетерогенным материалом, обладает неоднородной структурой с большим количеством микротрещин, возникающих в процессе его усадки при твердении; имеет весьма низкое отношение прочности при растяжении к прочности

при сжатии. Предельные деформации у бетона при растяжении существенно ниже, чем, например, у стали, стекла и полимерных материалов [1]. Перечисленные недостатки предопределили необходимость решения специальных научных задач по выявлению оптимальных условий совмещения бетонной матрицы с различными видами армирующих волокон, технические характеристики которых (прочность, модуль упругости, предельные деформации при растяжении, сопротивление к воздействиям щелочной среды) изменяются в широком диапазоне.

Высокодисперсные волокнистые наполнители в цементных композициях оказывают положительное влияние на процессы структурообразования. Использование дисперсного армирования в затвердевших цементных растворах и бетонах повышает предел прочности на срез и на растяжение при изгибе, ударную и усталостную прочность, снижает усадочные деформации, предотвращает трещинообразование, увеличивает эластичность, сопротивление удару и истиранию, повышает морозостойкость, водонепроницаемость [2 – 5].

Другим направлением повышения эксплуатационных характеристик цементных композитов является использование комплексных добавок – полифункциональных модификаторов, позволяющих достигать требуемых свойств с одновременным снижением расхода цемента. Наиболее перспективными модификаторами для бетонов и растворов являются тонкодисперсные минеральные добавки, в частности микрокремнезем и метакраолин [6–8]. Также в России широкое распространение получает система материалов «Пенетрон», в частности гидроизоляционная добавка в бетонную смесь «ПенетронАдмикс», позволяющая значительно повысить стойкость бетона к воздействию агрессивных сред [9].

Проводились экспериментальные исследования, направленные на изучение комплексного влияния полифункциональных модифицирующих добавок и дисперсного армирования на основные физико-механические характеристики дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов, а также анализ наиболее оптимальных комплексов модификаторов и фибр с целью повышения исследуемых свойств цементных композитов.

Для получения составов мелкозернистых фибробетонов с полифункциональными модифицирующими добавками был использован портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Б производства ОАО «Мордовцемент». В качестве мелкозернистого заполнителя применялся речной песок с размером зерна менее 5 мм, добываемый в посёлке Смольный, Ичалковского района (Республика Мордовия).

Дисперсное армирование бетонов обеспечивалось отдельным или комплексным введением трех видов фибр:

1) низко модульного полипропиленового мультифиламентного волокна с длиной резки 12 мм, диаметром  $25\div 35$  мкм, плотностью  $0,91$  г/см<sup>3</sup>;

2) высоко модульного полиакрилонитрильного синтетического волокна специальной обработки для бетонов FibARMFiberWB с длиной резки 12 мм, диаметром  $14\div 31$  мкм, плотностью  $1,17\pm 0,03$  г/см<sup>3</sup>;

3) модифицированной астраленами базальтовой микрофибры под фирменным названием «Астрофлекс-МБМ» длиной  $100\div 500$  мкм, средним диаметром  $8\div 10$  мкм, насыпной плотностью  $800$  кг/м<sup>3</sup>, с содержанием астраленов  $0,0001\div 0,01$  % от массы фибры.

С целью полифункциональной модификации мелкозернистых бетонов применялись следующие виды добавок:

1) микрокремнезем конденсированный уплотненный (МКУ-85) производства ОАО «Кузнецкие ферросплавы»;

2) высокоактивный метакраолин белый производства ООО «Мета-Д»;

3) гидроизоляционная добавка в бетонную смесь «ПенетронАдмикс».

Для обеспечения необходимых реологических свойств в состав вводился органический модификатор – высококачественный суперпластификатор Melflux 1641 F (MF 1641 F).

Уровни варьирования исследуемых факторов в кодированных величинах и их численные значения представлены в таблице. В ходе проведения экспериментального исследования варьировалось две группы факторов – вид и содержание используемых добавок ( $v_1$  – микрокремнезем конденсированный уплотненный (МКУ);  $v_2$  – высокоактивный метакаолин (ВМК);  $v_3$  – гидроизоляционная добавка «ПенетронАдмикс» (Адмикс)), а также вид и содержание применяемой фибры ( $w_1$  – низко модульное полипропиленовое волокно (ППН);  $w_2$  – высоко модульное полиакрилонитрильное волокно (ПАН);  $w_3$  – модифицированная базальтовая микрофибра (МБМ)). При составлении плана экспериментального исследования обеспечивалось выполнение следующих условий:

$$0 \leq v_i \leq 1; \sum v_i = 1; i=1, 2, 3; 0 \leq w_i \leq 1; \sum w_i = 1; i=1, 2, 3.$$

Уровни варьирования исследуемых факторов экспериментального исследования

Факторы			Уровни варьирования			
			0	0,333	0,5	1
Вид добавки	$v_1$	МКУ, % от массы цемента	0	6,667	10	20
	$v_2$	ВМК, % от массы цемента	0	2	3	6
	$v_3$	Адмикс, % от массы цемента	0	0,5	0,75	1,5
Вид фибры	$w_1$	ППН, % от массы цемента	0	0,333	0,5	1
	$w_2$	ПАН, % от массы цемента	0	0,5	0,75	1,5
	$w_3$	МБМ, % от массы цемента	0	1,667	2,5	5

Неизменными составляющими фибробетонной смеси оставались: доля мелкозернистого заполнителя – 65 % от массы твердой фазы и содержание суперпластификатора Melflux 1641 F – 0,5 % от массы вяжущего.

В ходе проведенного эксперимента были исследованы: предел прочности при сжатии (ГОСТ 310.4) и на растяжение при изгибе (ГОСТ 310.4), плотность в нормальных влажностных условиях (ГОСТ 12730.1–78) в возрасте 28 суток. Прочностные характеристики мелкозернистых бетонов определялись на установке WilleGeotechnik® (модель 13-PD/401) для испытания строительных материалов [10]. Настройка основных параметров и фиксирование полученных экспериментальных результатов осуществлялись с использованием программного обеспечения GEOSYS 8.7.8.

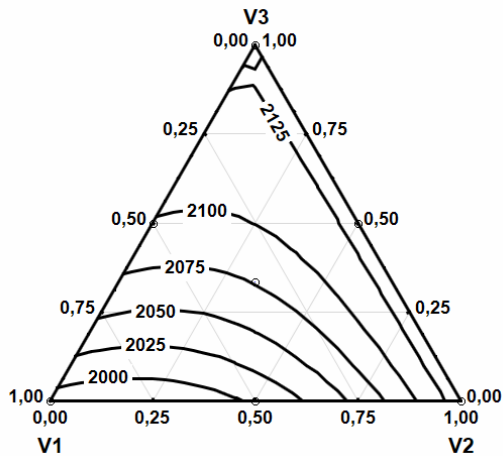
Обработка результатов эксперимента осуществлялась с применением методов математической статистики. Получены коэффициенты полиномиальных уравнений, отражающие связь между исследуемыми свойствами композитов и содержанием варьируемых факторов:

$$y = b_{12}v_1v_2 + b_{13}v_1v_3 + b_{23}v_2v_3 + d_{12}w_1w_2 + d_{13}w_1w_3 + d_{23}w_2w_3 + k_{11}v_1w_1 + k_{21}v_2w_1 + k_{31}v_3w_1 + k_{12}v_1w_2 + k_{22}v_2w_2 + k_{32}v_3w_2 + k_{13}v_1w_3 + k_{23}v_2w_3 + k_{33}v_3w_3. \quad (1)$$

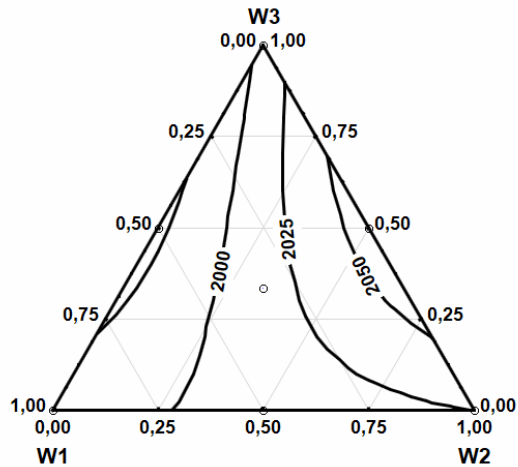
Результатов экспериментальных исследований наглядно были представлены с помощью треугольных диаграмм Гиббса–Розебома в виде двумерных карт линий уровня (рис. 1–3), построенных с использованием программы Statistica 10.0.1011.

Проведенный анализ линий равного влияния показал, что увеличение содержания ВМК, а в ещё большей степени добавки Адмикс, в общей массе применяемых модификаторов позволило получить цементные композиты с наибольшей плотностью (рис. 1, а, в, д), причем максимальные результаты были достигнуты при равном соотношении ПАН-фибры и МБМ (по 50 %) (рис. 1, е). Напротив, повышение доли микрокремнезема и полипропиленовой фибры приводит к снижению плотности фибробетонов. Наиболее низкая плотность зафиксирована у цементных композитов, модифицированных добавкой микрокремнезема ( $v_1 = 1$ ), и дисперсно-армированных комплексом волокон «ППН+МБМ» при долях фибр, близких к равным ( $w_1 = w_3 = 0,5$ ) (рис. 1, б).

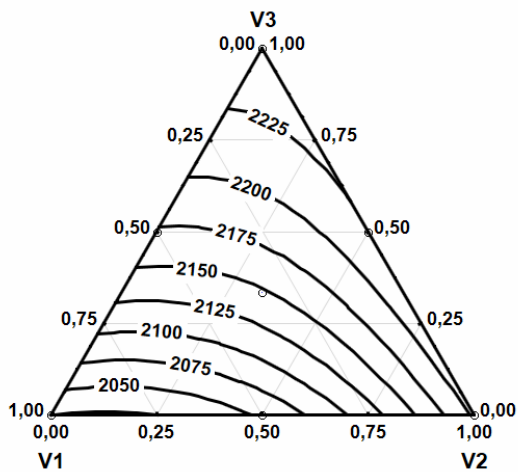
а



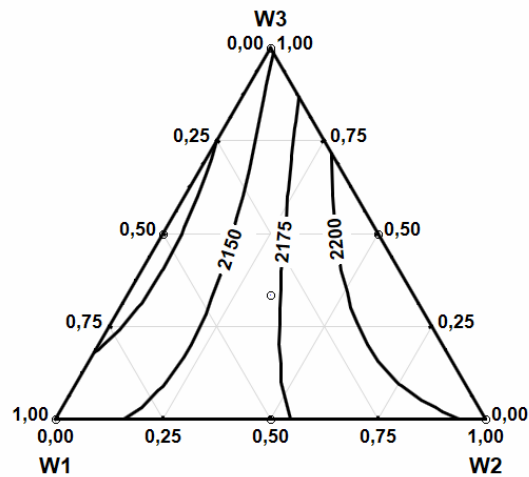
б



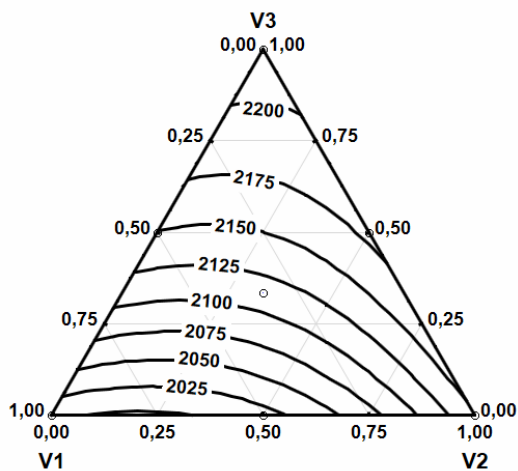
в



г



д



е

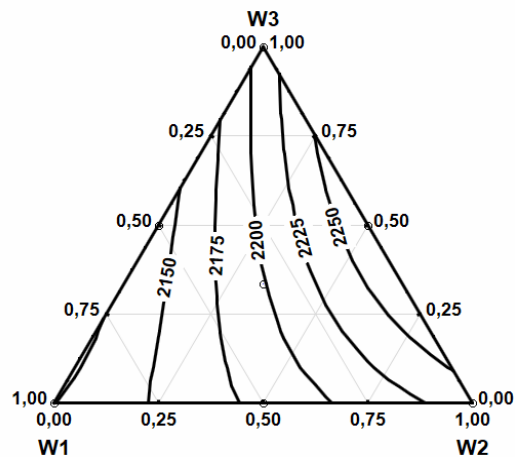


Рис. 1. Треугольные диаграммы Гиббса–Розебома изменения плотности в нормальных влажностных условиях ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов в зависимости от содержания добавок ( $v_1, v_2, v_3$ ) и фибры ( $w_1, w_2, w_3$ ) различных видов (см. таблицу):

а –  $w_1 = 1, w_2 = 0, w_3 = 0$ ; б –  $v_1 = 1, v_2 = 0, v_3 = 0$ ; в –  $w_1 = 0, w_2 = 1, w_3 = 0$ ;

г –  $v_1 = 0, v_2 = 1, v_3 = 0$ ; д –  $w_1 = 0, w_2 = 0, w_3 = 1$ ; е –  $v_1 = 0, v_2 = 0, v_3 = 1$

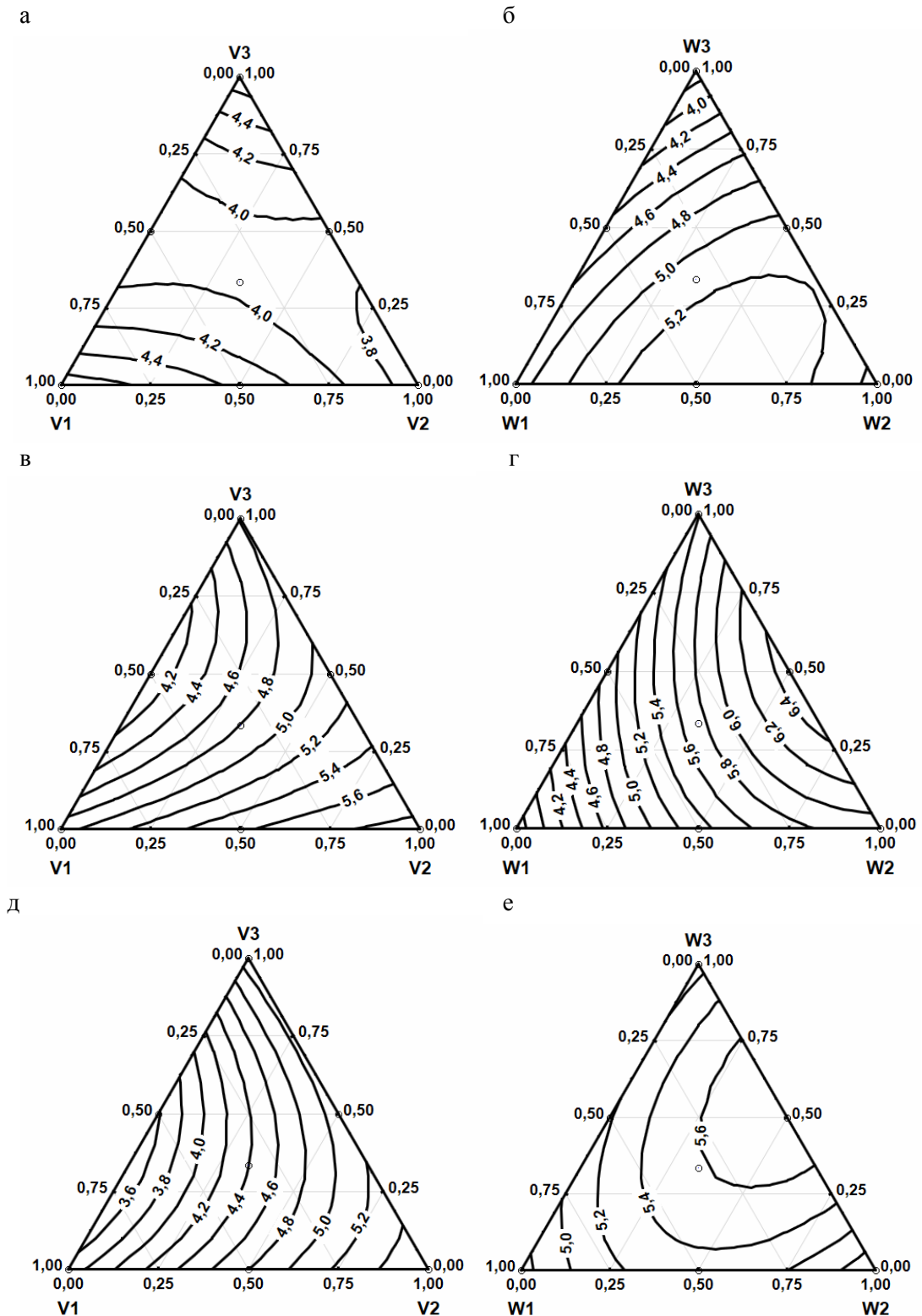


Рис. 2. Треугольные диаграммы Гиббса–Розебома изменения предела прочности на растяжение при изгибе (МПа) дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов в зависимости от содержания добавок ( $v_1, v_2, v_3$ ) и фибры ( $w_1, w_2, w_3$ ) различных видов (см. таблицу):

а –  $w_1 = 1, w_2 = 0, w_3 = 0$ ; б –  $v_1 = 1, v_2 = 0, v_3 = 0$ ; в –  $w_1 = 0, w_2 = 1, w_3 = 0$ ;

г –  $v_1 = 0, v_2 = 1, v_3 = 0$ ; д –  $w_1 = 0, w_2 = 0, w_3 = 1$ ; е –  $v_1 = 0, v_2 = 0, v_3 = 1$

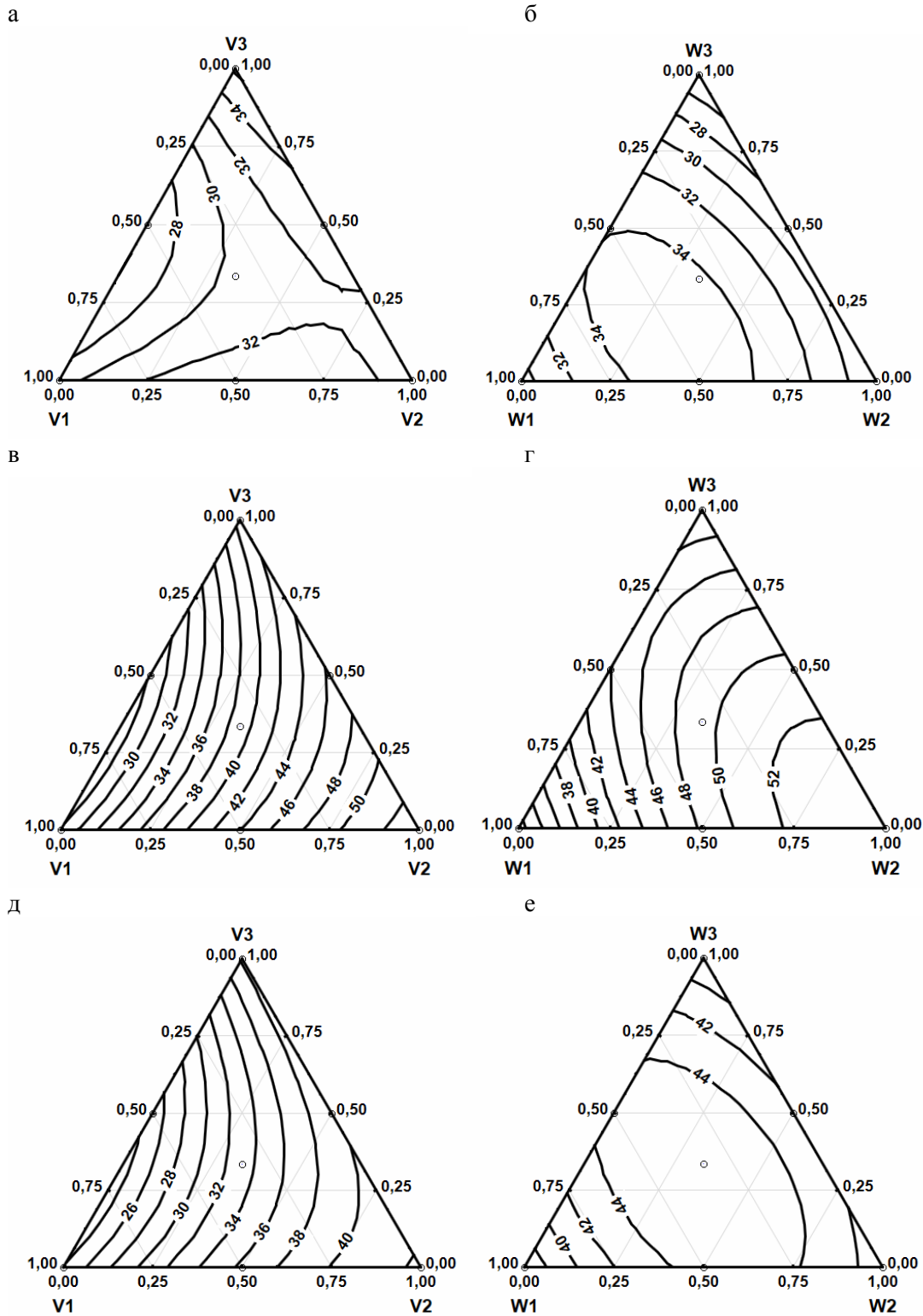


Рис. 3. Треугольные диаграммы Гиббса–Розебома изменения предела прочности при сжатии (МПа) дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов в зависимости от содержания добавок ( $v_1, v_2, v_3$ ) и фибры ( $w_1, w_2, w_3$ ) различных видов (см. таблицу):

а –  $w_1 = 1, w_2 = 0, w_3 = 0$ ; б –  $v_1 = 1, v_2 = 0, v_3 = 0$ ; в –  $w_1 = 0, w_2 = 1, w_3 = 0$ ;

г –  $v_1 = 0, v_2 = 1, v_3 = 0$ ; д –  $w_1 = 0, w_2 = 0, w_3 = 1$ ; е –  $v_1 = 0, v_2 = 0, v_3 = 1$

Среди вводимых в состав бетонов модификаторов метакаолин оказал наилучшее влияние на исследуемые прочностные характеристики мелкозернистых дисперсно-армированных бетонов. При применении ПАН-волокна и МБМ повышение содержания ВМК привело к значительному росту предела прочности при сжатии и на растяжение при изгибе (рис. 2; 3, в, д); наибольшие результаты были зафиксированы при максимальном количестве метакаолина ( $v_2 = 1$ ) и следующем содержании данных дисперсных волокон:

– для предела прочности на растяжение при изгибе – при процентном соотношении фибр, близких к равным (т.е.  $w_2 = w_3 = 0,5$ ) (рис. 2, г);

– для предела прочности при сжатии – при максимальном использовании ПАН-фибры ( $w_2 = 1$ ) (рис. 3, г).

Однако увеличение доли метакаолина при максимальном содержании ППН ( $w_1 = 1$ ) не приводит к повышению прочностных показателей исследуемых составов (рис. 2; 3, а); в этом случае более благоприятным является применение добавки Адмикс.

Среди других используемых модификаторов для повышения предела прочности на растяжение при изгибе предпочтительным является совместное использование добавки Адмикс с ПАН-фиброй и МБМ, а МКУ – с ППН и ПАН-волокном, особенно при их равных долях в паре вводимых фибр ( $w_2 = w_3 = 0,5$  и  $w_1 = w_2 = 0,5$  соответственно) (рис.2, б, е). Для приведенных выше модификаторов (Адмикс, МКУ) зона максимальных значений предела прочности при сжатии зафиксирована при практически равном соотношении фибр, т.е. при  $w_1 \approx w_2 \approx w_3$  (рис.3, б, е).

По результатам проведенных исследований выявлены составы модифицированных полифункциональными добавками дисперсно-армированных бетонов с комплексом наилучших упругопрочностных характеристик. Установлено, что наиболее высокие показатели исследуемых свойств были зафиксированы у составов с метакаолином, армированных полиакрилонитрильным волокном. Введение в дисперсно-армированную бетонную смесь микрокремнезема приводит к снижению плотности и прочности цементных композитов, что свидетельствует о негативном влиянии МКУ на процессы структурообразования цементных композитов по сравнению с другими видами применяемых добавок.

#### Список литературы

1. Сарайкина, К.А. Щелочестойкость базальтового волокна и способы ее повышения / К.А. Сарайкина, В.А. Голубев, Е.Н. Семкова // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура.– 2012. – №1. – С. 185–192.
2. Рабинович, Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны / Ф.Н. Рабинович.– М.:Стройиздат, 1989. – 176 с.
3. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография / Ф.Н. Рабинович. – М.: АСВ, 2004. – 560 с.
4. Загороднюк, Л.Х. Классификация добавок для армирования мелкодисперсных композитов / Л.Х. Загороднюк, М. Шакарна, А.Ю. Щекина // GISAP (Global International Scientific Analytical Project). – URL: <http://gisap.eu/ru/node/23874>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
5. Корнеев, В.И. Сухие строительные смеси (состав, свойства, применение) / В.И. Корнеев [и др.]. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2008. – 319 с.
6. Низина, Т.А. Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов / Т.А. Низина, А.В. Балбалин // Вестник ТГАСУ. – 2012. – №2. – С. 148–153.

7. Низина, Т.А. Механическая активация цементных смесей с полифункциональными добавками / Т.А. Низина, А.В. Балбалин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №2. – С. 36–42.
8. Селяев, В.П. Многофункциональные модификаторы цементных композитов на основе минеральных добавок и поликарбоксилатных пластификаторов / В.П. Селяев, Т.А. Низина, А.В. Балбалин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – Волгоград, 2013. – Ч. 2, Вып. 31 (50). – С. 156–163.
9. Технологический регламент на проектирование и выполнение работ по гидроизоляции и антикоррозионной защите монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: СРО «РСПППГ», 2008. – 64 с.
10. Низина, Т.А. Материальная база вуза как инновационный ресурс развития национального исследовательского университета / Т.А. Низина, В.П. Селяев // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций факторов: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 115–121.

### References

1. Saraikina, K.A. The alkali resistance of basalt fiber and the ways of its improvement / K.A. Saraikina, V.A. Golubev, E.N. Semkova // Bulletin of the Perm national research Polytechnic University. Building and architecture. – №1. – 2012. – P. 185–192.
2. Rabinovich, F.N. Disperse reinforced concretes / F.N. Rabinovich. – М.: Stroyizdat, 1989. – 176 p.
3. Rabinovich, F.N. Composites based on disperse reinforced concretes. Questions of theory and design, technology, constructions: monograph / F.N. Rabinovich. – М.: ASV, 2004. – 560 p.
4. Zagorodnyuk, L.Kh. Classification of additives for the reinforcement of particulate composites / L.Kh. Zagorodnyuk, M. Shakarna, A.Y. Shchekina // GISAP (Global International Scientific Analytical Project). – Access mode: <http://gisap.eu/ru/node/23874>, free. – Title from the screen. – Language russian, english.
5. Korneev, V.I. Dry building mixtures (composition, properties, application) / V.I.Korneev [et al.] // Training manual. – St. Petersburg: St. Petersburg state technological Institute (technical University), 2008. – 319 p.
6. Nizina, T.A. The influence of mineral additives on the rheological and strength characteristics of cement composites / T.A. Nizina, A.V. Balbalin // Bulletin of the Tomsk state University of architecture and construction. – 2012. – №2. – P.148–153.
7. Nizina, T.A. Mechanical activation of cement mixtures with polyfunctional additives / T.A. Nizina, A.V. Balbalin// Regional architecture and construction. – 2013.–№2.– P.36–42.
8. Selyaev, V.P. Multifunctional modifiers of cement composites based on mineral admixtures and polycarboxylate plasticizers / V.P. Selyaev, T.A. Nizina, A.V. Balbalin //Bulletin of Volgograd state University of architecture and construction. Series: Construction and architecture. – Volgograd, 2013. – Part 2, Issue 31 (50). – P. 156–163.
9. Technological regulation for design and execution of works on waterproofing and corrosion protection of monolithic and precast concrete and reinforced concrete structures. – 2nd edition, revised and enlarged. – М.: Self-regulating organization «Russian Union of manufacturers and suppliers of penetrating waterproofing», 2008. – 64 p.
10. Nizina, T.A. The material base of the University as innovative resource of development of national research University /T.A. Nizina, V.P. Selyaev// Durability of building materials, products and structures: materials of Russian scientific and technical conference – Saransk: Mordovian University Press, 2014. – С. 115–121.



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

Россия, 430005, г. Саранск,  
ул. Большевистская, д. 68,  
тел./факс: (8342) 47-71-56

**Низина Татьяна Анатольевна,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»,  
советник РААСН  
E-mail: nizinata@yandex.ru

**Инин Андрей Евгеньевич,**  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: sucre90@mail.ru

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

Russia, 430005, Saransk, 68,  
Bolshevistskayast.,  
Tel./fax: (8342) 47-71-56

**Nizina Tatyana Anatolevna,**  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Building structures», Adviser  
of the Russian Academy of Architecture  
and Construction Sciences  
E-mail: nizinata@yandex.ru

**Inin Andrey Evgenyevich,**  
Postgraduate of the department «Building  
structures»  
E-mail: sucre90@mail.ru

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЖИДКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР И ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Т.А. Низина, А.Е. Инин

Приведены результаты экспериментальных исследований наполненных связующих и составов жидких теплоизоляционных покрытий. Выявлено изменение параметров теплопроводности и плотности в зависимости от содержания полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей.

*Ключевые слова: энергосбережение, теплоизоляция, микросферы, диатомит, белая сажа, полимерные связующие, плотность, теплопроводность*

## ENERGY EFFICIENT LIQUID THERMAL INSULATION COATINGS BASED ON HOLLOW MICROSPHERES AND FINELY DIVIDED MINERAL FILLERS

T.A. Nizina, A.E. Inin

The article contains results of experimental studies of filled binders and liquid formulations of thermal insulation coatings. Revealed the changes in parameters of thermal conductivity and density depending on the content of hollow microspheres and fine mineral fillers.

*Keywords: energy efficiency, thermal insulation, microspheres, diatomite, white carbon, polymeric binders, density, thermal conductivity*

Вопросы энергосбережения в строительстве приобретают особую актуальность в связи с нерациональным использованием топливно-энергетических ресурсов и постоянным повышением их стоимости. Для нашей страны актуальность этой проблемы также обусловлена низкой среднегодовой температурой окружающей среды ( $-5,5$  °C) и длительным отопительным сезоном (для ряда регионов этот показатель превышает 200 дней, а в некоторых регионах отопление зданий и сооружений осуществляется постоянно). Потери тепла при транспортировке через системы теплоснабжения достигают 20 % от общего расхода на теплоснабжение [1]; поэтому сокращение тепловых потерь за счет применения энергоэффективных материалов и технологий является важным направлением развития строительной отрасли.

Для зданий с эффективным использованием энергии заложен принцип удовлетворения главным потребителем требованиям [2]. Таких нормативных требований установлено три:

- 1) предельный уровень удельного энергопотребления на отопление системой теплоснабжения здания за отопительный период;
- 2) требования по комфорту микроклимата в помещениях здания;
- 3) отсутствие выпадения конденсата на внутренних поверхностях ограждений.

Как показывает мировой опыт решения проблемы энергосбережения, сокращение потерь тепла при отоплении зданий достигается повышением термического сопротивления ограждающих конструкций [3]. Одним из приоритетных направлений повышения теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций является разработка эффективных составов жидких теплоизоляционных покрытий.

Жидкое теплоизоляционное покрытие (ЖТП) представляет собой композицию, состоящую из полимерного связующего, наполнителей, в качестве которых, как правило, используют полые микросферы, пигменты, а также ряд функциональных добавок. По консистенции материал напоминает краску, которую можно наносить на бетонную, деревянную, кирпичную и металлическую поверхность. После высыхания образуется эластичное полимерное покрытие, которое обладает высокими теплоизоляционными свойствами.

Достоинствами ЖТП являются:

- экологичность;
- пожаробезопасность;
- стойкость к атмосферным воздействиям;
- возможность теплоизоляции поверхностей сложной конфигурации;
- постоянный доступ к осмотру изолированной поверхности;
- быстрый процесс ремонта покрытия.

Особое значение при разработке защитных покрытий имеет выбор связующего, так как от типа полимерной матрицы существенно меняются диапазон рабочих температур, водо- и атмосферостойкость, химическая стойкость, ударная прочность и долговечность наносимых покрытий [4]. Акриловые связующие на водной основе хорошо зарекомендовали себя при эксплуатации в качестве защитно-декоративных покрытий строительных конструкций, зданий и сооружений. Они являются экологически чистыми, быстро сохнут, не имеют неприятного запаха, характеризуются длительным сроком службы, пожаро- и взрывобезопасны. При проведении экспериментальных исследований использовалась акриловая дисперсия «Акрэмос-101», представляющая собой дисперсию сополимера стирола и акриловых мономеров. Дисперсия хорошо совмещается со многими добавками и наполнителями, входящими в состав ЛКМ и обладает высокой светостойкостью, стойкостью к старению и действию щелочной среды [5, 6].

При производстве ЖТП многие производители, стремясь достигнуть максимально низких значений теплопроводности, в качестве наполнителей используют исключительно полые стеклянные или керамические микросферы, содержание которых, согласно литературным источникам, может составлять 80 % от общего объема. При этом роль связующего в целях дополнительного снижения теплопроводности составов практически не учитывается.

По нашему мнению, при разработке жидких теплоизоляционных покрытий необходимо уделять особое внимание оптимизации составов связующих не только по прочностным и адгезионным характеристикам, но и по их теплопроводности. В ходе выполненных ранее исследований [8, 9] установлено, что при разработке составов связующих, предназначенных в дальнейшем для изготовления ЖТП, целесообразно использовать минеральные порошки низкой плотности, что позволит дополнительно снизить теплопроводность наносимых покрытий. Проведенный анализ показал, что наиболее перспективными наполнителями с этой точки зрения являются белая сажа и порошки на основе диатомитов, являющиеся для Республики Мордовия местными строительными материалами.

Тонкодисперсные минеральные порошки благодаря кремнистому, тонкодисперсному составу и большой удельной поверхности обладают высокими теплоизоляционными, кислотоустойчивыми и огнеупорными свойствами [10], что позволяет использовать их в рецептурах жидких теплоизоляционных покрытий.

Белая сажа представляет собой тонкодисперсную осажденную двуокись кремния, используемую в качестве усиливающего наполнителя термопластов и реактопластов. Химическая формула –  $m \text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ .

Диатомит – горная порода осадочного происхождения, состоящая в основном из раковин диатомовых водорослей. Удельная поверхность диатомита составляет  $50 \div 100 \text{ м}^2/\text{грамм}$  осадка, объемный вес  $1 \div 0,25 \text{ г/см}^3$ . Содержание кремнезема варьируется от 62 до 97 %. Природный диатомит обладает высокой пористостью, которая может достигать 90–92 %.

При проведении экспериментальных исследований, посвященных разработке эффективных составов наполненных связующих и ЖТП на их основе, применялись методы математического планирования. В качестве матрицы планирования при разработке составов наполненных акриловых связующих использовали ортогональный план второго порядка, состоящий из 15 опытов. Варьируемыми факторами служили: акриловая дисперсия ( $X_1$ ); диатомит ( $X_2$ ); белая сажа ( $X_3$ ). Содержание специализированных видов добавок и загустителя принималось постоянным по отношению к массе связующих для всех составов. Уровни варьирования переменных факторов и план экспериментального исследования в кодовых величинах приведены, соответственно, в табл. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

Уровни варьирования переменных факторов

Исследуемые факторы			Уровни варьирования		
Обозначение	Наименование	Единицы измерения	-1	0	+1
$x_1$	Акриловая дисперсия	% от массы связующего	16	20	24
$x_2$	Диатомит	% от массы связующего	5	10	15
$x_3$	Белая сажа	% от массы связующего	2	5	8

Т а б л и ц а 2

План и результаты экспериментальных исследований наполненных акриловых связующих

Номер состава	План экспериментального исследования в кодовых величинах			Результаты экспериментальных исследований		
	Акриловая дисперсия ( $x_1$ )	Диатомит ( $x_2$ )	Белая сажа ( $x_3$ )	Плотность в жидком состоянии, $\text{г/см}^3$	Плотность в твердом состоянии, $\text{г/см}^3$	Теплопроводность, $\text{Вт/(м·К)}$
1	0	1	1	0,88	0,80	0,225
2	0	1	-1	1,01	0,75	0,354
3	0	-1	1	0,90	0,86	0,304
4	0	-1	-1	1,52	0,815	0,307
5	1	-1	0	1,04	0,59	0,296
6	1	1	0	1,10	0,89	0,253
7	1	0	-1	1,06	0,72	0,191
8	1	0	1	1,15	0,98	0,123
9	1	0	0	1,04	0,90	0,253
10	0	0	0	0,91	0,72	0,252
11	-1	-1	0	0,88	0,553	0,167
12	-1	1	0	-	-	-
13	-1	0	-1	0,90	0,496	0,138
14	-1	0	1	-	-	-
15	-1	0	0	1,4	1,045	0,353

Учитывая, что использование тонкодисперсных наполнителей приводит к значительному загущающему эффекту, перед введением в состав наполненных связующих полых микросфер композиции предварительно (для обеспечения требуемой подвижности) корректировали за счет введения дополнительного количества воды. Суммарный расход воды на всех этапах изготовления наполненных связующих в зависимости от состава приведен на рис. 1.



Рис. 1. Расход воды в зависимости от состава ЖТП

В ходе проведения экспериментального исследования оценивались: плотность в жидком и твердом состояниях и теплопроводность (ГОСТ 7076–99) составов наполненных связующих и ЖТП на их основе. Известно, что лучший теплоизолятор – это сухой воздух (коэффициент теплопроводности – 0,023 Вт/(м·К)), особенно когда он заключен в порах материала, т.е. малоподвижен. Тонкодисперсные минеральные порошки обладают высокой пористостью, что позволяет существенно снижать плотность и, как следствие, теплопроводность разрабатываемых составов.

Из анализа экспериментальных данных, представленных в табл. 2, видно, что в зависимости от соотношения и доли в составе наполненного связующего диатомита и белой сажи происходит существенное изменение теплопроводности (0,12 ÷ 0,35 Вт/(м·К)), а также плотности в жидком (0,88 ÷ 1,52 г/см<sup>3</sup>) и твердом (0,5 ÷ 1,045 г/см<sup>3</sup>) состояниях. Наименьшие показатели теплопроводности, составляющие 0,12 ÷ 0,13 Вт/(м·К), выявлены для 8-го и 13-го композитов. Составы 12 и 14 наполненного связующего обладали повышенной ломкостью, что не позволило получить для них значения по теплопроводности и плотности в твердом состоянии.

С учетом уменьшения числа экспериментальных значений для получения математической модели было выбрано полиномиальное уравнение с 13 коэффициентами следующего вида:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + b_{112} \cdot x_1^2 \cdot x_2 + b_{122} \cdot x_1 \cdot x_2^2 + b_{113} \cdot x_1^2 \cdot x_3. \quad (1)$$

После обработки экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов получены коэффициенты полиномиального уравнения и построены линии равного влияния (рис. 2).

Для измерения коэффициента теплопроводности разработанных составов ЖТП использовался прибор ИТС-1, принцип действия которого основан на методе стационарных тепловых потоков. Установлено, что наилучшими теплоизоляционными характеристиками при 24 %-м содержании в составе наполненных связующих акри-

ловой дисперсии обладают композиты с максимальным содержанием минеральных наполнителей, составляющим, соответственно, 8 % белой сажи и 15 % диатомита (рис. 2, б). При снижении доли акриловой дисперсии до 20 % наблюдается смещение зоны оптимума в область, содержащую от 9 до 13 % диатомита; оптимальное содержание белой сажи в составе наполненных связующих при этом не меняется и составляет 8 % (рис. 2, а).

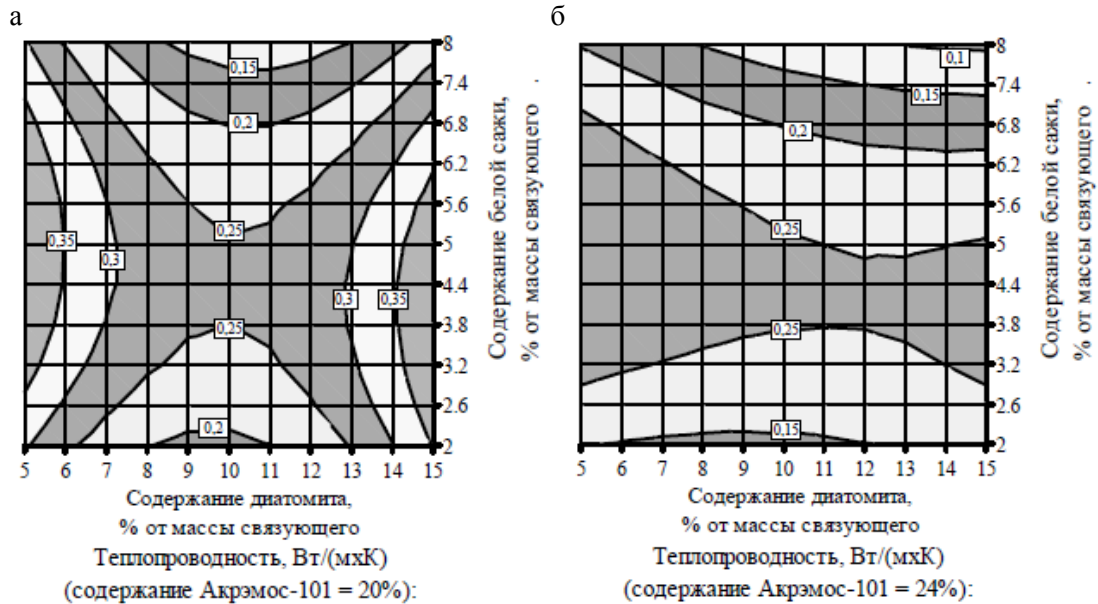


Рис. 2. Изолинии изменения теплопроводности наполненных акриловых связующих в зависимости от содержания диатомита и белой сажи при содержании акриловой дисперсии 20 (а) и 24 % (б) от массы связующего

Следующий этап получения составов ЖТП связан с введением в состав наполненных связующих полых микросфер, позволяющих существенно снизить плотность и теплопроводность разрабатываемых покрытий. Данный процесс выделен в отдельный технологический этап в связи с невысокой устойчивостью полых микросфер к раздавливанию, что требует регулирования интенсивности перемешивания. Например, для марки K15, используемой в данном исследовании, устойчивость к раздавливанию при обеспечении 90 % неповрежденных микросфер составляет 21 бар [11].

Выбор микросфер марки K15 производства компании 3M GlassBubbles обусловлен низкой плотностью при достаточно высокой твердости и сферической формой частиц, позволяющей частицам легко перемещаться друг относительно друга и, как следствие, увеличивать текучесть смеси. Кроме того, благодаря инертному составу, микросферы 3M<sup>TM</sup>GlassBubbles обладают стойкостью к воздействию химических веществ. Основные характеристики стеклянных микросфер марки K15, изготовленных на основе борсиликатного стекла, приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Основные характеристики стеклянных микросфер марки K15 3M<sup>TM</sup>GlassBubbles [11]

Характеристики	Значения			
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,15			
Средний диаметр, мкм	60			
Толщина стенки, мкм	0,60			
Отношение $V_{\text{внутр}}/V_{\text{общ}}$	0,94			
Устойчивость к раздавливанию (90 % неповрежденных), бар	21			
Распределение частиц по объему, мкм	10 %	50 %	90 %	95 %
	30	60	105	115

Количество вводимых в составы ЖТП полых микросфер варьировалось с учетом достижения требуемой вязкости смеси для получения составов с однородной подвижностью. Составы 12 и 14, для которых не удалось получить экспериментальных значений плотности и теплопроводности на этапе подбора состава наполненных связующих из-за их хрупкости, также были использованы в дальнейшей работе. Количество вводимых микросфер марки K15 3M™ GlassBubbles в зависимости от состава наполненного связующего приведено на рис. 3; концентрация микросфер варьируется от 5 до 12 % от массы ЖТП.

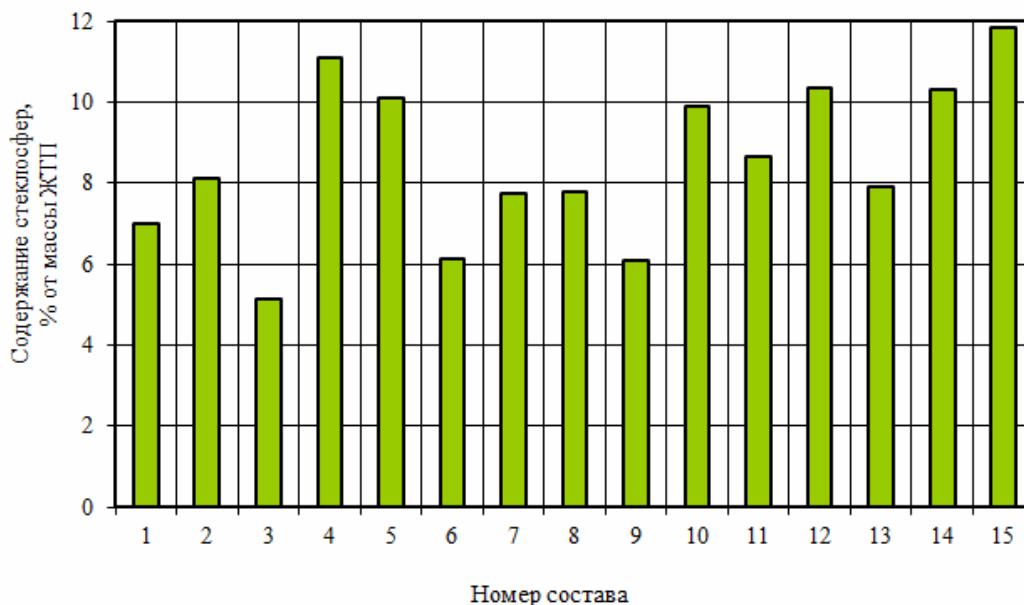


Рис. 3. Содержание полых микросфер марки K15 3M™ в зависимости от массы ЖТП

Дальнейший этап экспериментальных исследований был посвящен определению плотности и теплопроводности разработанных составов ЖТП, результаты которых представлены на рис. 4–5. Анализ гистограмм изменения теплопроводности (рис. 4) показал, что у ряда разработанных составов полученные значения ниже, чем у промышленно выпускаемого покрытия «Изолат» (0,0713 В/(м·К)), и сопоставимы со значениями теплопроводности покрытия «Корунд» (0,0546 В/(м·К)). Наилучшие показатели зафиксированы для 1, 10, 12, 14 и 15-го составов ЖТП.

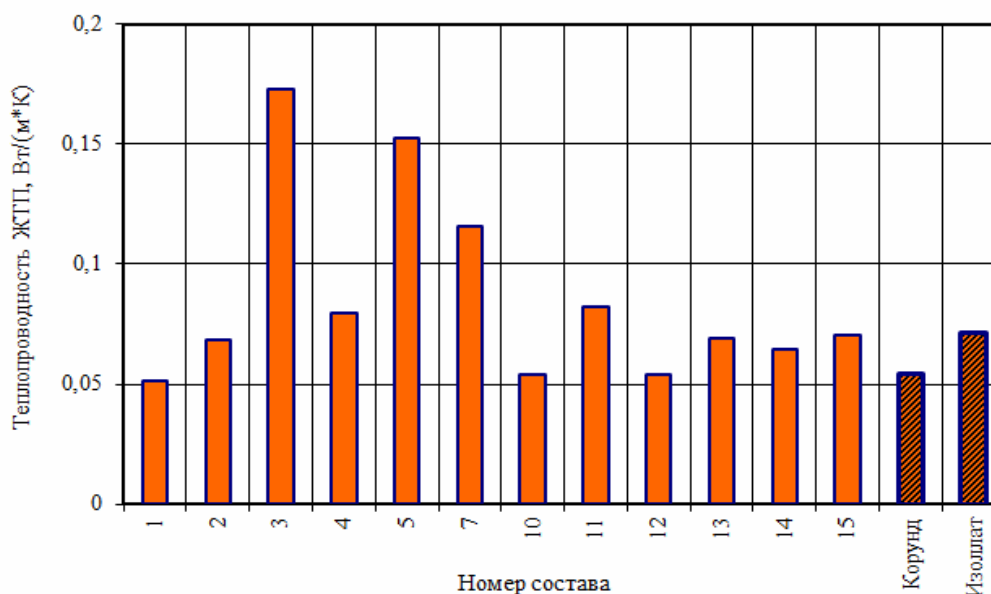


Рис. 4. Теплопроводность ЖТП на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей

Из анализа изменения плотности (рис. 5) видно, что наименьшие значения как в жидком, так и в твердом состоянии, не уступающие значениям, характерным промышленно выпускаемым составам, получены для 10, 14 и 15-го составов.

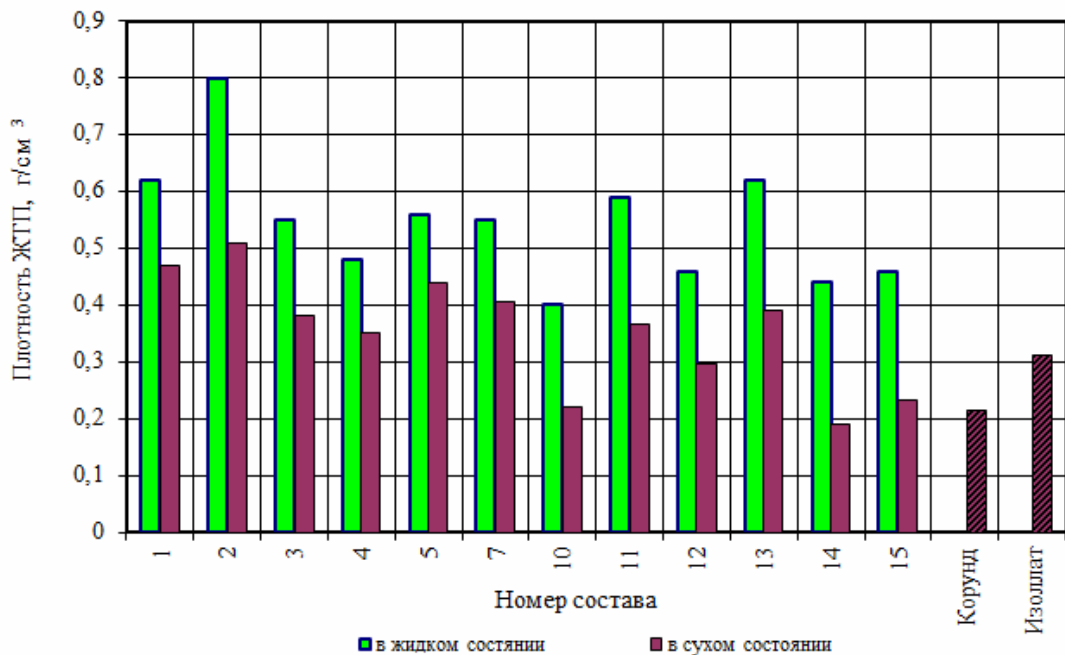


Рис. 5. Плотность ЖТП на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей в жидком и твердом состояниях

Связующие вещества в составах ЖТП обеспечивают механическую прочность и термостабильность теплоизоляционного покрытия. Благодаря своим высоким эксплуатационным свойствам наиболее хорошо зарекомендовали себя в качестве связующих акриловые полимеры.

Неотъемлемым компонентом жидких теплоизоляционных покрытий являются минеральные наполнители, без применения которых невозможно достижение заданного уровня свойств покрытия. Дисперсные порошки на основе диоксида кремния, позволяющие снизить плотность и теплопроводность разрабатываемых составов, являются наиболее перспективными.

В результате экспериментальных исследований получены составы ЖТП на основе наполненных тонкодисперсными минеральными наполнителями (диатомит и белая сажа) связующих, не уступающие по своим характеристикам промышленно выпускаемым композитам. Исследовано влияние содержания акриловой дисперсии, диатомита, белой сажи и полых микросфер на свойства теплоизоляционных покрытий. На основе анализа полученных результатов выявлены составы наполненных связующих для жидких теплоизоляционных покрытий, обладающих наименьшей теплопроводностью и плотностью в жидком и твердом состояниях.

#### Список литературы

1. О влиянии структурированного тонкопленочного теплоизоляционного покрытия на термическое сопротивление теплопроводов / В.А. Рыженков, А.Ф. Прищепов, Н.А. Логинова, А.П. Кондратьева // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – №5. – С. 58–59.
2. Матросов, Ю.А. Региональное нормирование – стимул повышения энергоэффективности зданий / Ю.А. Матросов, И.Н. Бутовский, Д.Б. Гольдштейн // АВОК. – 1997. – № 5. – С. 24–29.

3. Панченко, Ю.Ф. Энергоэффективность использования нового теплозащитного материала для снижения теплопотребления зданий и сооружений / Ю.Ф. Панченко, Г.А. Зимакова, Д.А. Панченко // Вестник ТГАСУ. – 2011. – № 4. – С. 97–105.
4. Обзор связующих веществ в синтактных пенах для теплоизоляционных конструкций объектов энергетики / А.В. Рыженков [и др.] // Энергетическая безопасность Союзного государства: сборник материалов секции (6–11 октября 2014 года) / Белорусский национальный технический университет, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». – Минск: БНТУ, 2014. – С. 133–145.
5. Низина, Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т.А. Низина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 258 с.
6. Селяев, В.П. Климатические испытания фасадных красок на акриловой основе / В.П. Селяев, Т.А. Низина, Н.О. Зубанкова // Долговечность строительных материалов и конструкций: материалы науч.-практ. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – С. 36–41.
7. Низина, Т.А. Разработка водно-дисперсионных акриловых лакокрасочных составов с высокой белизной и однородностью окраски / Т.А. Низина, Н.О. Зубанкова, В.П. Селяев // Актуальные вопросы строительства: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – С. 206–212.
8. Инин, А.Е. Разработка эффективных составов наполненных полимерных связующих для жидких теплоизоляционных покрытий / А.Е. Инин, Т.А. Низина, В.А. Неверов // Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – С. 158–162.
9. Низина, Т.А. Разработка жидких энергосберегающих покрытий на основе местных минеральных наполнителей / Т.А. Низина, А.Е. Инин // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 89–94.
10. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита: монография / В.П. Селяев [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – 220 с.
11. 3M™ GlassBubbles. – URL: [http://igc-market.ru/image/import\\_files/ae/K37%20микросферы\\_1.pdf](http://igc-market.ru/image/import_files/ae/K37%20микросферы_1.pdf).

## References

1. The effect of a structured thin-film heat-insulating coating on the thermal resistance of the heat conductors / V.A. Rizhenkov, A.F. Prishchepov, N.A. Loginov, A.P. Kondratiev // Energy-saving and water treatment. – 2010. – №5. – P. 58–59.
2. Matrosov, Y. Regional rationing – an incentive to improve energy-efficient buildings, / Y.A. Matrosov, I.N. Butovo, D.B. Goldstein // AVOK. – 1997. – № 5.– P. 24–29.
3. Panchenko, Y.F. Energy use of a new heat-insulating material to reduce heat consumption of buildings / Y.F. Panchenko, G.A. Zimakova, D.A. Panchenko // Herald Trace. – 2011.– № 4. – P. 97–105.
4. Review binders in syntactic foams for heat-insulating facilities in power station /A.V. Rizhenkov [et al.] // The energy security of the Union State: proceedings of section (6 – October 11, 2014): Belarusian National Technical University, Federal State budgetary Educational institution of Higher professional Education «National Research University «MEI». – Minsk: Belarusian National Technical University, 2014. – P. 133–145.
5. Nizina, T.A. Protective and decorative coatings based on epoxy and acrylic binders / T.A. Nizina. – Saransk: Mordovian University Press, 2007. – 258 p.
6. Selyaev, V.P. Environmental testing of facade acrylic based paints / Selyaev, V.P. Nizina, T.A., Zubankova N.O. // Durability of building materials and constructions: materials of scientific-practical. Conf. – Saransk: Mordovian University Press, 2005. – P. 36–41.



7. Nizina, T.A. Development of aqueous dispersion acrylic paintwork compositions with high whiteness and uniformity color / T.A. Nizina, N.O. Zubankova, V.P. Selyaev // Actual questions of construction: materials Intern. scientific and engineering. Conf. – Saransk: Mordovian University Press, 2007. – P. 206–212.

8. Inin, A.E. The development of effective compositions filled polymeric binders for liquid insulation coating / A.E. Inin, T.A. Nizina, V.A. Neverov // Developing effective aircraft, industrial, electrical engineering and building materials and study of their durability in conditions effects of various operational factors: materials Intern. scientific and engineering. Conf. – Saransk: Mordovian University Press, 2013. – P. 158–162.

9. Nizina, T.A. The development of energy-saving liquid coating based on local mineral fillers / T.A. Nisina, A.E. Inin // Durability of building materials, products and designs: material Vseross. scientific and engineering. conf. – Saransk: Mordovian University Press, 2013. – P. 89–94.

10. Thermal insulation materials and products based on vacuum-disperse powders of microsilica and diatomite: monograph / V.P. Selyaev [et al.]. – Saransk: Mordovian University Press, 2013. – 220 p.

11. 3М™ Glass Bubbles. – URL: [http://igc-market.ru/image/import\\_files/ae/K37%20микросферы\\_1.pdf](http://igc-market.ru/image/import_files/ae/K37%20микросферы_1.pdf).

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

Россия, 308012, г. Белгород,  
ул. Костюкова, д. 46,  
тел.: (4722) 54-20-87; факс: (4722) 55-71-39

**Жерновский Игорь Владимирович**,  
кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент кафедры «Строительное  
материаловедение, изделия и конструкции»  
E-mail: [zhernovsky.igoi@mail.ru](mailto:zhernovsky.igoi@mail.ru)

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

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

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

**Кислицына Светлана Николаевна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технологии строительных  
материалов и деревообработки»  
E-mail: [Kisl752@mail.ru](mailto:Kisl752@mail.ru)

**Фролов Михаил Владимирович**,  
аспирант кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: [mihail-frolovv@yandex.ru](mailto:mihail-frolovv@yandex.ru)

*Belgorod State Technological University  
named after V.G. Shukhov*

Russia, 308012, Belgorod,  
46, Kostyukova St.,  
tel.: (4722) 54-20-87; fax: (4722) 55-71-39

**Zhernovsky Igor Vladimirovich**,  
Candidate of Geological and Mineralogical  
Sciences, Associate Professor  
of the department «Building materials,  
products and structures»  
E-mail: [zhernovsky.igoi@mail.ru](mailto:zhernovsky.igoi@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 of building production  
technology»  
E-mail: [loganin@mai.ru](mailto:loganin@mai.ru)

**Kislitsina Svetlana Nikolaevna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Technologies of building  
materials and wood»  
E-mail: [Kisl752@mail.ru](mailto:Kisl752@mail.ru)

**Frolov Mikhail Vladimirovich**,  
Postgraduate of the department «Quality  
management and of building production  
technology»  
E-mail: [mihail-frolovv@yandex.ru](mailto:mihail-frolovv@yandex.ru)

## СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ В ПРИСУТСТВИИ ГИДРОСИЛИКАТОВ И АЛЮМОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ

И.В. Жерновский, В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов

Приведены сведения о структуре и свойствах синтезируемой добавки для известковых отделочных составов. Показано, что в начальный период твердения образцов на основе известковых составов с применением синтезируемой добавки наблюдается быстрый рост прочности.

*Ключевые слова: известь, синтезируемая добавка, минералогический состав, структурообразование, прочность*

## LIME COMPOSITES STRUCTURE FORMATION IN THE PRESENCE OF CALCIUM SILICATE AND ALUMINUM SILICATE

V.I. Zhernovski, V.I. Loganina, S.N. Kislitsina, M.V. Frolov

The information about the structure and properties of synthesized additives for lime finishing compositions. It is shown that in the initial period of hardening of samples on the basis of lime formulations using admixture rapid growth in strength is seen.

*Keywords: lime, synthesis additive, mineralogical composition, structure, strength*

Для реставрации и ремонта зданий и сооружений исторической застройки используют, как правило, известковые составы. Учитывая, что известковые составы характеризуются медленными сроками отверждения и обладают недостаточной водостойкостью, в их рецептуру предложено вводить нанодисперсные добавки [1–7]. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что применение в рецептуре известковых отделочных составов таких добавок способствует повышению водостойкости, морозостойкости отделочных покрытий.

Для повышения эксплуатационных свойств покрытий на основе известковых составов нами предложено вводить в рецептуру комплексную добавку, содержащую синтезированные гидросиликаты и алюмосиликаты кальция [8].

Добавка представляет собой белый дисперсный порошок, характеризующийся истинной плотностью, составляющей  $2140 \text{ кг/м}^3$ , насыпной плотностью, составляющей  $240 \text{ кг/м}^3$ , и удельной поверхностью, равной  $1380 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Технология получения алюмосиликатной добавки заключалась в каустификации растворов жидкого стекла гидроокисью кальция с последующим взаимодействием полученного гидросиликата кальция с раствором сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  [9].

Для этого свежеприготовленную известь гасили водой, нагретой до  $60^\circ\text{C}$ , и доводили до кипения. Затем в эту смесь вливали раствор жидкого стекла, нагретый до  $60^\circ\text{C}$ , содержащий  $122,4 \text{ г/л SiO}_2$  и  $47,4 \text{ г/л Na}_2\text{O}$ .

Полученную пульпу перемешивали 15 минут. Образовавшийся осадок отфильтровывали и обрабатывали 10 %-м раствором сульфата алюминия до  $\text{pH}=6,5$ . Полученную смесь отфильтровывали и высушивали при  $100^\circ\text{C}$  в течение 12 часов в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ.

Оксидный состав синтезируемой добавки представлен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Содержание оксидов, присутствующих в синтезированной добавке

Наименование оксидов	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$
Содержание оксидов, %	37,05	31,07	10,98	9,84	9,80	0,994

Анализ данных, представленных в табл.1, свидетельствует, что в добавке в основном преобладают следующие оксиды:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ . Рентгенофазовый анализ (РФА) показал, что минералогический состав добавки представлен минералами тоберморитовой группы,  $\text{Å}$  ( $d=3,049$ ,  $d=3,203$ ,  $d=1,826$ ,  $d=1,676$ ), гипсом  $\text{Å}$  ( $d=7,638$ ,  $d=4,298$ ), полуводным гипсом,  $\text{Å}$  ( $d=6,063$ ,  $d=2,801$ ,  $d=3,490$ ), твердым раствором  $\text{CSH}(\text{V})$  в виде слабозакристаллизованного геля,  $\text{Å}$  ( $d=2,181$ ;  $d=1,882$ ;  $d=1,741$ ). Анализ рентгенограммы показал, что присутствует рентгеноаморфная фаза, содержащая цеолиты (рис.1).

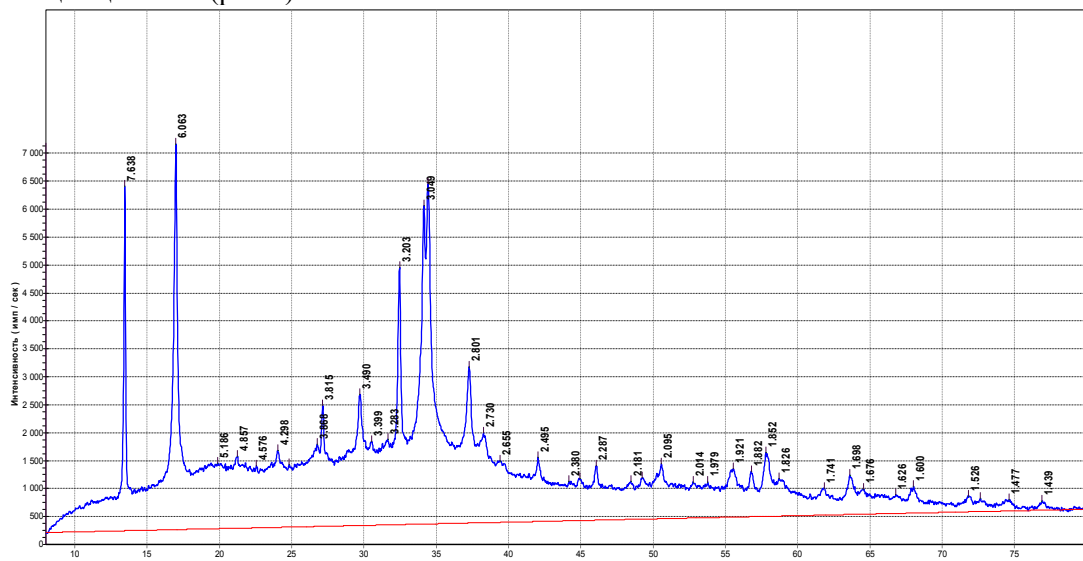


Рис.1. Рентгенограмма образцов добавки

Полученные данные нашли дополнительное подтверждение при проведении дифференциально-термического анализа с помощью установки «Термоскан-2». Термический анализ (ТА) образцов проводили в интервале температур 20–1000°C в атмосфере воздуха при скорости нагрева 10°C/мин. На рис. 2 приведена термограмма добавки.

При анализе термограммы синтезируемой добавки установлено, что эндоэффект в области температур 105–160°C, составляющий  $Q=0,932$  Дж, связан с удалением свободной воды. Следующий эндоэффект в области температур 170–200°C, равный  $Q=1,443$  Дж, обусловлен влиянием следующих эффектов: дегидратацией гипса до полуводного гипса, дегидратацией гидроалюмосиликатов кальция – натрия и удалением химически связанной воды из гидросиликатов кальция. Эндоэффект при температуре 220°C, составляющий  $Q=0,181$  Дж, вызван полным обезвоживанием полуводного гипса до ангидрита. Сильный экзоэффект в области температур 780–950°C связан с кристаллизацией гидросиликатов кальция, содержащихся в добавке. Изменение массы образца составляет 19,2 %.

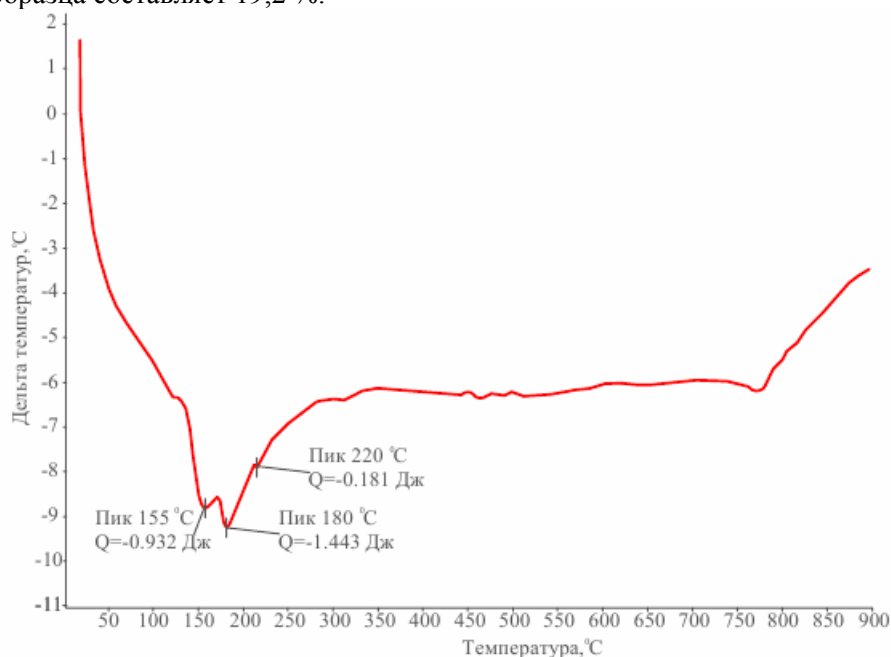


Рис. 2. Кривые дифференциально-термического анализа образцов добавки

Введение добавки в рецептуру известковых составов приводит к ускорению отверждения и росту прочности композитов. Так, прочность при сжатии известковых образцов в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения составляет  $R_{сж} = 1,22$  МПа, а с добавкой – 1,8 МПа. На наш взгляд, повышение прочности известковых композитов с синтезируемой добавкой обусловлено химическим взаимодействием извести с добавкой.

Был проведен ДТА известкового композита с синтезируемой добавкой. Обнаружено, что тепловой эффект при температуре 80–150°C, составляющий  $Q=3,272$  Дж, связан с удалением свободной воды (рис.3, кривая 2). Эндотермический эффект при температуре 150–210°C, составляющий  $Q=1,817$  Дж, обусловлен сложением двух эффектов. Вначале при нагреве свыше 150°C происходит удаление химически связанной воды из гидросиликатов кальция. Затем при температуре 180°C двуводный гипс дегидратируется до полуводного. Интенсивный эндоэффект в интервале 485–560°C, составляющий  $Q=17,85$  Дж, связан с дегидратацией портландита. Небольшой сдвиг данного пика влево относительно контрольного образца (без добавки), возможно, связан с удалением конституционной воды из алюмосиликатов, происходящим при более низкой температуре по сравнению с дегидратацией портландита. Тепловой эффект при температуре 800–1000°C характеризует диссоциацию кальцита.

При сравнении термограмм известкового композита с добавкой и контрольного образца (без добавки) выявлено, что тепловой эффект, связанный с дегидратацией

портландита, в контрольных образцах больше и составляет  $Q=25,41$  Дж. Это, видимо, обусловлено большим содержанием портландита (рис.3, кривая 1), что подтверждается данными о количестве химически свободной извести. Установлено, что в контрольных образцах в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения количество свободной извести составляет 49,1 %, а с применением добавки – 33,6 %.

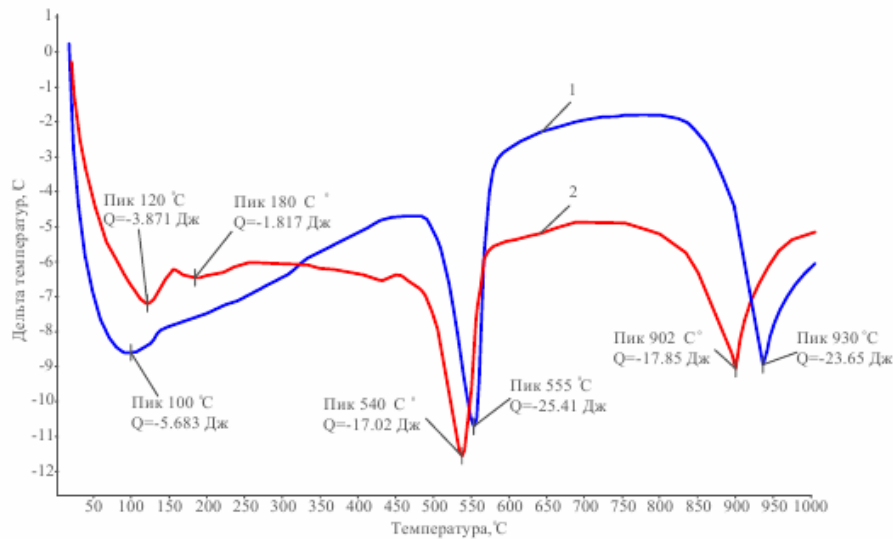


Рис. 3. Кривые дифференциально-термического анализа образцов:  
1 – контрольный образец; 2 – образец с применением синтезированной добавки

Рентгенограмма образцов известкового композита с синтезируемой добавкой представлена на рис. 4. Большинство пиков, как и предполагалось, отражают высокое содержание в образце кальцита, Å ( $d=3,865$ ,  $d=3,570$ ,  $d=3,399$ ,  $d=3,227$ ,  $d=3,041$ ,  $d=2,499$ ,  $d=2,286$ ,  $d=3,041$ ,  $d=2,098$ ,  $d=1,915$ ,  $d=1,878$ ,  $d=1,621$ ,  $d=1,524$ ) и портландита, Å ( $d=4,921$ ,  $d=2,631$ ,  $d=3,115$ ,  $d=1,929$ ,  $d=1,798$ ,  $d=1,688$ ,  $d=1,554$ ,  $d=1,554$ ,  $d=1,484$ ,  $d=1,445$ ). Преобладание в образце данных минералов усложнило расшифровку, т.к. часть пиков других соединений, очевидно, оказалась скрытой. По данным РФА, в образце также были обнаружены: гипс, Å ( $d=7,627$ ,  $d=3,06$  (скрытый за 3,041)); гидросиликаты кальция, Å ( $d=3,028$  (скрытый за 3,041),  $d=3,027$  (скрытый за 3,041),  $d=3,125$  (скрытый за 3,115),  $d=2,846$ ,  $d=2,319$ ); гидроалюмосиликаты кальция  $d=2,745$ ,  $d=1,648$ ,  $d=3,07$  (скрытый за 3,041)).

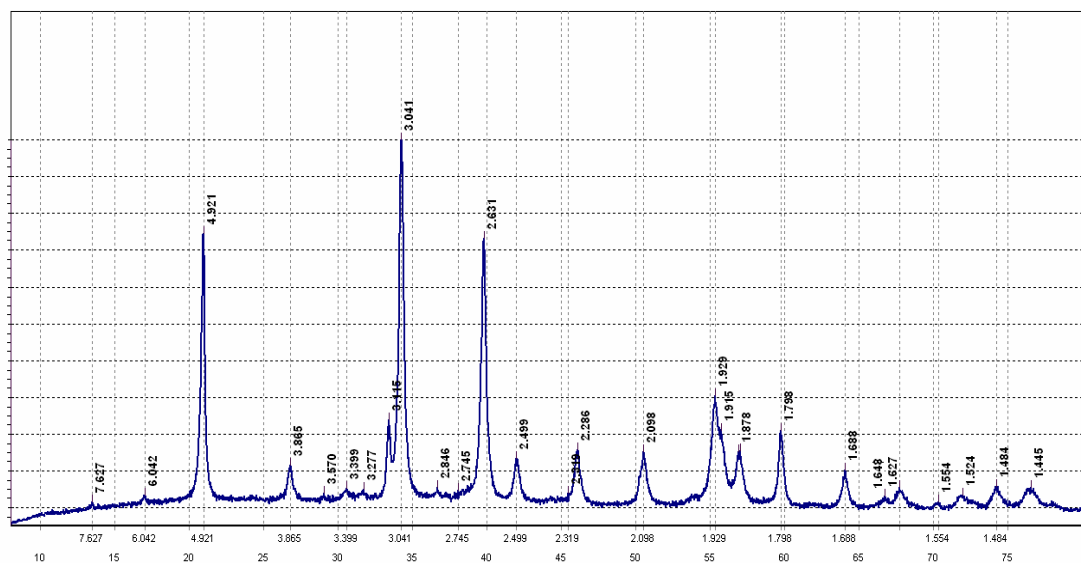


Рис. 4. Рентгенограмма образцов известкового композита

Таким образом, структурообразование известковых композитов в присутствии добавки происходит за счет кристаллизации портландита и карбонизации, а также дополнительно за счет химического взаимодействия извести с добавкой, обуславливающей появление катоита  $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{OH})_8$ . Результаты испытаний показали, что наблюдается быстрый рост пластической прочности, что, на наш взгляд, обусловлено взаимодействием полуводного гипса, содержащего в добавке, с водой.

Таким образом, испытания подтвердили эффективность применения в известковых составах добавки, содержащей синтезированные гидросиликаты и алюмосиликаты кальция.

#### Список литературы

1. Логанина, В.И. Разработка органоминеральной добавки для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Н.А. Петухова, Э.Р. Акжигитова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 8–12.
2. Kuo, Wen-Yih Effects of organo modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars / Wen-Yih Kuo, Jong-Shin Huang, Chi-Hsien Lin // Cement and Concrete Research. – 2006. – Vol. 36, Issue 5. – P. 886–895.
3. Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime–metakaolin plasters for renovation of historical buildings / E. Vejmelková [etc.] // Construction and Building Materials. – 2012. – №31. – P. 22–28.
4. Повышение водостойкости покрытий на основе известковых отделочных составов / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, С.Н. Кислицина, К.А. Сергеева // Известия высших учебных заведений. – 2012. – №1(637). – С. 41–46.
5. Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, О.А. Давыдова // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – № 2. – С. 53–57.
6. Известковые отделочные составы с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, С.Н. Кислицина, И.В. Жерновский, М.А. Садовникова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 55–57.
7. Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics / L. Ventolà, M. Vendrell, P. Giraldez, L. Merino // Construction and Building Materials. – 2011. – №25, Issue 8. – P. 3313–3318.
8. Application of activated diatomite for dry lime mixes / V.I. Loganina, E. Simonov, W. Jezierski, D. Małaszkiwicz // Construction and Building. – 2014. – Vol. 65. – P. 29–37.
9. А.с. 698923. Способ получения алюмосиликатного наполнителя / В.С. Сажин [и др.]. – Опубл. 30.11.1979, Бюл. №43.

#### References

1. Loganina, V.I. Development of organomineralnoj additives for dry mixes / V.I. Loganina, N.A. Petuhova, E.R. Akzhigitova // Vestnik of Belgorod State Technological University. VG Shukhov. – 2011. – № 3. – P. 8–12.
2. Kuo, Wen-Yih Effects of organo modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars / Wen-Yih Kuo, Jong-Shin Huang, Chi-Hsien Lin // Cement and Concrete Research. – 2006. – Vol. 36, Issue 5. – P. 886–895.
3. Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime–metakaolin plasters for renovation of historical buildings / E. Vejmelková [etc.] // Construction and Building Materials. – 2012. – №31. – P. 22–28.
4. Improving water resistance of coatings based on lime finishing compositions / V.I. Loganina, L.V. Makarova, S.N. Kislitsina, K.A. Sergeev // News of higher educational institutions. – 2012. – №1 (637). – P. 41–46.
5. Optimization of composites for general purpose, modified nanoscale additives / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, O.A. Davydova // Regional architecture and engineering. – 2010. – № 2. – P. 53–57.

6. Lime finishing compositions using synthesized aluminosilicate / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, I.V. Zhernovski, M.A. Sadovnikov // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. – 2014. – № 2. – P. 55–57.

7. Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics / L. Ventolà, M. Vendrell, P. Giraldez, L. Merino // Construction and Building Materials. – 2011. – №25, Issue 8. – P.3313–3318.

8. Application of activated diatomite for dry lime mixes / V.I. Loganina, E.Simonov, W.Jeziarski, D.Małaszkiwicz //Construction and Building. – 2014. – Vol. 65. – P. 29–37.

9.A.s. 698 923. Method for producing aluminosilicate filler / V.S. Sazhin [etc.]. – Opubl.30.11.1979, Byul.№43.

УДК 691.534.2

*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

**Пышкина Ирина Сергеевна**,  
аспирант кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: glazycheese@gmail.com

**Толушов Сергей Александрович**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Строительные конструкции»

**Болдырев Сергей Александрович**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: boldyrev-s@ya.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 of building production technology»  
E-mail: loganin@mai.ru

**Pyshkina Irina Sergeevna**,  
Postgraduate of the department «Quality manage-  
ment and of building production technology»  
E-mail: glazycheese@gmail.com

**Tolushov Sergey Alexandrovich**,  
Candidate of Sciences, Associate professor of  
the department «Building constructions»

**Boldyrev Sergey Alexandrovich**,  
Candidate of Sciences, Associate professor of  
the department «Building constructions»  
E-mail: boldyrev-s@ya.ru

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СИНТЕЗА ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ\*

В.И. Логанина, И.С. Пышкина, С.А. Толушов, С.А. Болдырев

Приведены сведения о закономерностях твердения известковых образцов, приготовленных с применением добавки на основе гидросиликатов кальция. Предложена математическая модель влияния процентного содержания добавки-осадителя и количества диатомита, участвующих в синтезе добавки, на прочность при сжатии известковых образцов.

*Ключевые слова: гидросиликаты кальция, добавка, диатомит, сухие строительные смеси, предел прочности при сжатии*

## OPTIMIZATION OF SYNTHESIS MODE OF SILICATE ADDITIVE BASED ON LIME DRY MIXES

V.I. Loganina, I.S. Pyshkina, S.A. Tolushov, S.A. Boldyrev

This article provides information about the patterns of hardening limestone samples with additives based on calcium hydrosilicates. A mathematical model of the influence of percentage of additives, precipitating agent and the amount of diatomite involved in the synthesis of additives on the compressive strength of limestone samples is suggested.

*Keywords: hydrous calcium supplement, diatomaceous earth, dry mix, compressive strength*

В проведенных ранее исследованиях была подтверждена эффективность введения в рецептуру отделочных известковых сухих строительных смесей (ССС) минеральных добавок на основе синтезированных гидросиликатов кальция (ГСК), способствующих повышению стойкости известковых покрытий [1–3].

\* Работа выполнялась при финансовой поддержке программы «УМНИК».



Методом рентгенофазового анализа установлено, что степень закристаллизованности синтезированных гидросиликатов невысокая, образуются гидросиликаты кальция различной основности [4]. Учитывая, что низкоосновные гидросиликаты кальция обладают более высокой прочностью, в продолжении дальнейших исследований в целях получения низкоосновных гидросиликатов кальция и повышения эффективности синтезируемой добавки нами при синтезе вводился диатомит. Технология синтеза добавки заключалась в следующем. К раствору натриевого жидкого стекла с модулем  $M=2,8$  добавлялась суспензия диатомита, после перемешивания вводился раствор  $\text{CaCl}_2$ . Полученную смесь отфильтровывали и высушивали до постоянной массы при температуре  $100^\circ\text{C}$ . Высушенную добавку измельчали до удельной поверхности  $S_{\text{уд}} = 1900 \text{ м}^2/\text{кг}$ . При синтезе добавки изменялось соотношение «твердая : жидкая фаза» Т:Ж от 1:2,5 (0,4) до 1:1,66 (0,6) [5, 6]. Применялся диатомит Инзенского месторождения.

Синтезированная добавка была применена для изготовления известковых образцов, при этом содержание добавки составляло 30 % от массы извести. В качестве вяжущего применяли известь-пушонку 2-го сорта с активностью 86 %. Готовились составы с водоизвестковым отношением В/И = 1,2.

Оценивался предел прочности при сжатии известковых образцов в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения. Для сравнения изготавливались известковые образцы, приготовленного только с применением диатомита в количестве 30 % от массы извести.

Установлено, что предел прочности при сжатии  $R_{\text{сж}}$  известковых образцов, приготовленных с применением добавки ГСК, синтезированных без применения диатомита, составляет  $R_{\text{сж}} = 4,7 \text{ МПа}$  (табл.1), в то время как у известковых образцов, приготовленных с применением добавки ГСК, синтезированных в присутствии диатомита,  $R_{\text{сж}} = 7,59 \text{ МПа}$  (табл.1). Прочность при сжатии контрольного состава составляла  $R_{\text{сж}} = 2,12 \text{ МПа}$  (табл.1).

Т а б л и ц а 1

## Прочность при сжатии известковых образцов

Добавка	Прочность при сжатии, МПа
Контрольный состав ( без добавки)	2,12
Осаждение в присутствии 10 %-го раствора $\text{CaCl}_2$ в количестве 50 % от массы жидкого натриевого стекла	4,7
Осаждение в присутствии 10 %-го раствора $\text{CaCl}_2$ в количестве 50 % от массы жидкого натриевого стекла с добавлением диатомита, при этом соотношение Т:Ж = 1:2 (0,5)	7,59
Диатомит	3,25

Для оптимизации режима синтеза добавки на основе синтезированных ГСК в работе был спланирован полный двухфакторный эксперимент. Параметром оптимизации был выбран предел прочности при сжатии известковых образцов.

В качестве факторов были приняты процентное содержание  $\text{CaCl}_2$  ( $x_1$ ) и соотношение «твердая : жидкая фаза» Т:Ж ( $x_2$ ). В табл. 2 представлены условия изменения переменных.

Т а б л и ц а 2

## Условия изменения переменных

Уровни факторов	Факторы	
	Процентное содержание раствора $\text{CaCl}_2$ ( $x_1$ ), %	Соотношение «твердая : жидкая фаза» ( $x_2$ )
Верхний уровень	15	0,4
Нижний уровень	5	0,6
Интервал варьирования	5	0,1

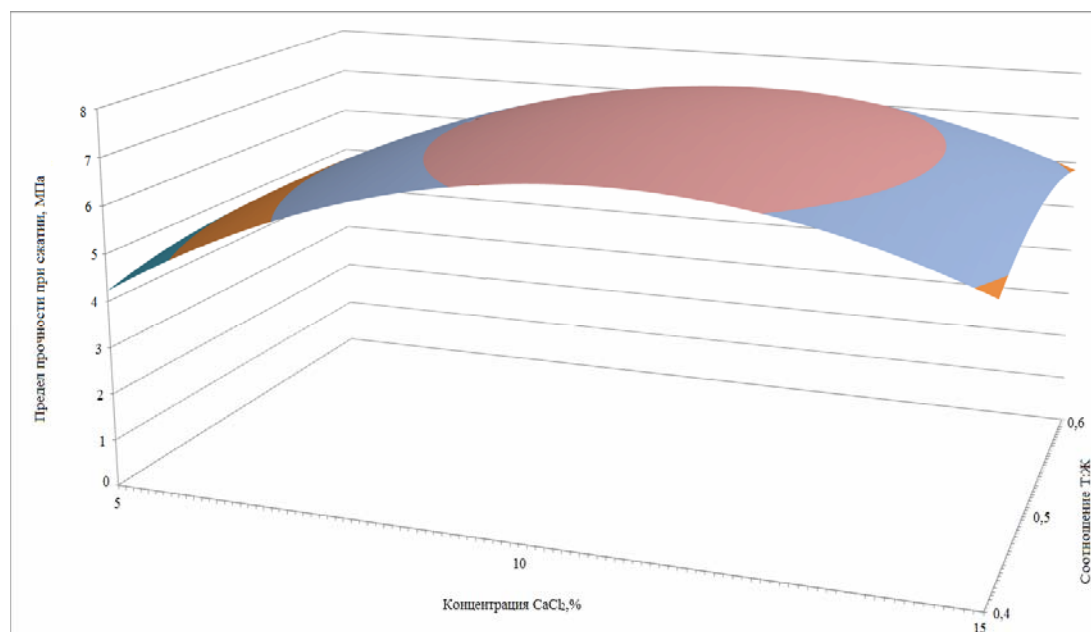
В результате обработки полученных экспериментальных данных была получена квадратичная модель:

$$R_{\text{сж}} = -14,419 + 1,871x_1 + 47,6x_2 - 0,0855x_1^2 - 47,6x_2^2. \quad (1)$$

Адекватность модели проверялась по критерию Фишера. Выбранная модель адекватно описывает исследуемую систему, так как табличное значение критерия Фишера, равное 3,5, оказалось больше расчетного значения 3,1. Однородность дисперсий оценивалась по критерию Кохрена. Расчетное значение критерия, равное 0,12, меньше табличного значения 0,63.

Значимость коэффициентов в модели (1) проверялась по критерию Стьюдента при уровне значимости 0,07. Значимость коэффициентов уравнения регрессии (1) свидетельствует о существенном влиянии концентрации добавки-осадителя и соотношения Т:Ж на параметр оптимизации.

Графическая интерпретация полученной модели представлена на рисунке.



Зависимость прочности при сжатии известковых образцов от технологических факторов синтеза добавки ГСК

При анализе полученной квадратичной модели были найдены точки экстремума. Оптимальный режим синтеза добавки соответствует введению  $\text{CaCl}_2$  в виде 10 %-го раствора при соотношении Т:Ж, равном 1:2.

Таким образом, разработана модель параметров синтеза добавки ГСК, позволяющая оптимизировать расход хлорида кальция и диатомита для получения добавок, используемых при создании известковых составов.

Известковые составы с синтезируемой добавкой характеризуются высокой прочностью при сжатии, жизнеспособностью, составляющей 3–4 часа, адгезионной прочностью, равной 0,9–1,1 МПа.

#### Список литературы

1. Логанина, В.И. Свойства известковых композитов с силикатсодержащими наполнителями / В.И.Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Строительные материалы. – 2012. – №3. – С.30–35.
2. Логанина, В.И. Влияние технологии синтеза силикатных наполнителей на свойства известковых и отделочных составов / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Папшева // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №2. – С.66–69.

3. Логанина, В.И. Тонкодисперсные наполнители на основе силикатов кальция для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Ю.А. Мокрушина // Строительные материалы. – №2. – 2010. – С.40–42.
4. Логанина, В.И. Повышение водостойкости покрытий на основе известковых отделочных составов / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, С.Н. Кислицина, К.А. Сергеева // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – №1(637). – С.41–46.
5. Логанина, В. И. Влияние режима синтеза наполнителя на структуру и свойства известковых сухих строительных смесей / В.И. Логанина, И.С. Пышкина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – №36 (55). – С. 64–67.
6. Loganina, V.I. Influence of the mode of synthesis of the filler on structure and properties of limy dry construction mixes / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, I.S. Pyshkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2014. –Т. 7. – № 33–36. – P. 1893–1897.

### References

1. Loganina, V.I. Properties of composites with lime silicate-filler / V.I. Loganina, L.V. Makarova, K.A. Sergeeva // Building materials. – 2012. – №3. – P.30–35.
2. Loganina, V.I. Influence of synthesis technology of silicate fillers on the properties of lime and finishing compositions / V.I. Loganina, L.V. Makarova, K.A. Papsheva // Regional architecture and engineering. – 2011. – №2. – P.66–69.
3. Loganina, V.I. Fine fillers based on calcium silicate for dry construction mixtures / V.I. Loganina, L.V. Makarova, Y.A. Mokrushina // Building materials. – 2010. – №2. – P.40–42.
4. Loganina, V.I. Improving water resistance of coatings based on lime finishing composition / V.I. Loganina, L.V. Makarova, S.N. Kislitsina, K.A. Sergeeva // News of higher educational institutions. Building. – 2012. – №1 (637). – P.41–46.
5. Loganina, V.I. Influence of synthesis conditions of the filler on properties of lime dry mixes / V.I. Loganina, I.S. Pyshkina // Herald of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. – 2014. – №36 (55). – P. 64–67.
6. Loganina, V.I. Influence of the mode of synthesis of the filler on structure and properties of limy dry construction mixes / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, I.S. Pyshkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2014. –Т. 7. – № 33–36. – P. 1893–1897.

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

**Шеглова Анна Сергеевна**,  
студентка

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

**Kochetkova Maya Vladimirovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Quality management and  
of building production technology»  
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

**Shcheglova Anna Sergeevna**,  
student

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

## КИНЕТИКА ТВЕРДЕНИЯ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА НА ПОРИСТОМ ОСНОВАНИИ

М.В. Кочеткова, А.С. Шеглова, Г.А. Фокин

Показана кинетика формирования структуры пенополимерцементного раствора на пористом основании из пенобетона, а также влияние капиллярных выходов на поверхность пористой структуры в зависимости от размеров пор.

*Ключевые слова: пористое основание из пенобетона, капиллярные выходы из основания, деформации ползучести в зависимости от водоцементного отношения, капиллярное давление, аутогезия, самослипание глобул полимера*

## KINETICS OF HARDENING OF POLYMER-CEMENT MORTAR ON POROUS SURFACE

M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova, G.A. Fokin

It was shown that kinetics of structure formation of polymer cement mortar on porous surface from foam concrete. The influence of capillary exits on surface of porous structure, depending on the pore sizes is presented.

*Keywords: porous base of the foam, concrete, capillary exits, creep deformation depending on water-cement ratio, capillary pressure, autohesion, self-adhesion of polymer beads*

Процессы формирования структуры пенополимерцементного раствора происходят несколько иначе при нанесении его в виде тонкого слоя (10–20 мм) на пористое основание из пенобетона. Изменяются и физико-механические свойства затвердевшего материала. При нанесении на пенобетон раствора за счет обилия капиллярных выходов на поверхности происходит интенсивный отсос воды из него и быстрое обезвоживание в контактной зоне. Это, в свою очередь, сдерживает процесс растворения клинкерных минералов и возникновения новообразований. В дальнейшем глубина обезвоживания раствора возрастает, что и приводит к снижению его механической прочности. Предварительное увлажнение поверхности не может привести к положительным результатам, так как трудно найти оптимальную степень увлажнения контактного слоя, зависящую от ряда факторов, например, от количества и размера пор, температуры бетона и раствора, способа его укладки и др.

Изменение влажности раствора при его укладке на пористое основание оказывает существенное влияние на кинетику нарастания пластической прочности. Уже через несколько минут система приобретает достаточно высокую пластическую прочность (рис. 1).

Нами уже отмечалось, что при введении в раствор полимера изменяются его реологические характеристики, повышается водоудерживающая способность. Это свойство весьма ценно при соединении раствора с пористым основанием, так как уменьшается его обезвоживание. Синтетические латексы и эмульсии, получаемые в результате эмульсионной полимеризации мономеров, имеют размеры частиц, достигающие нескольких микрон. Одной из качественных характеристик полимеров является аутогезия, т.е. способность их глобул к самослипанию с образованием монолитных пленок. Такие полимеры обладают и хорошей адгезией.

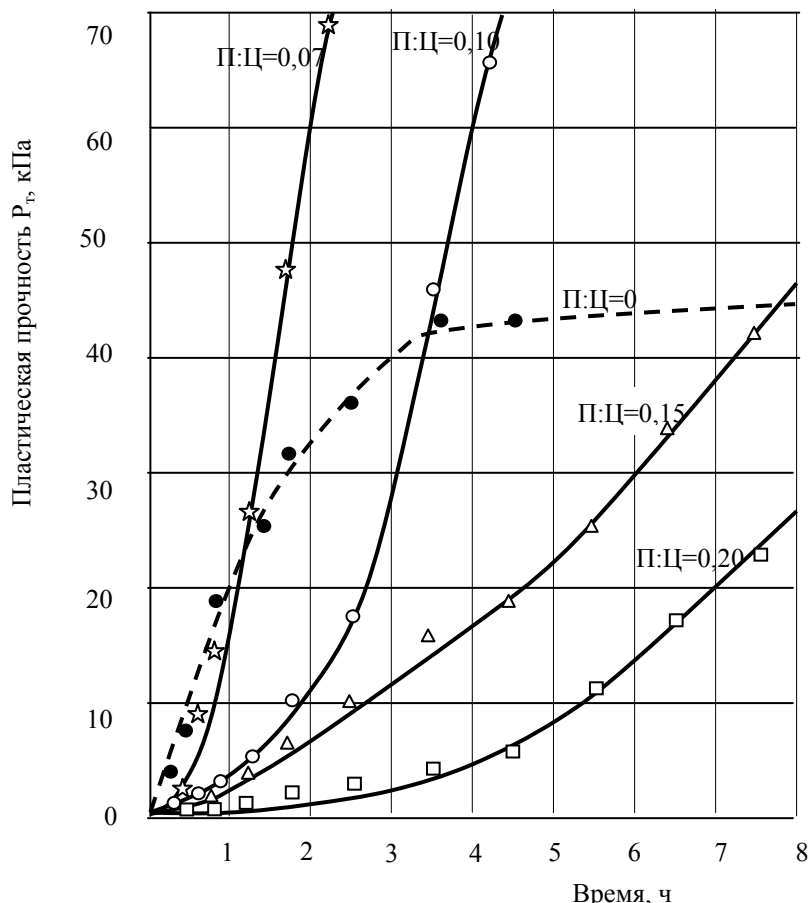


Рис. 1. Изменение пластической прочности пенополимерцементных растворов в слое 20 мм на пористом основании

Прочность сцепления раствора с пенобетоном во многом зависит от степени проникновения полимера в пенобетон. Мы полагаем, что при контакте пенополимерцементного раствора с пенобетоном вода, устремляясь под воздействием капиллярного давления в его глубинные слои, захватывает и частички полимера. Последние, скапливаясь в устьях капиллярных пор и склеиваясь между собой, закрывают их и предотвращают отсос влаги пенобетоном из раствора. Эти предположения подтвердились результатами проведенных испытаний.

Процесс влагоотдачи и изменения пластической прочности пенополимерцементных растворов с различным полимерцементным отношением при их укладке на пенобетон мы изучали методом электропроводности и пластометрии с помощью специально сконструированной установки.

Анализируя полученные результаты, нельзя не обратить внимание на ряд интересных свойств пенополимерцементных растворов, изменяющихся при разном П:Ц. Раствор без полимерной добавки практически обезвоживается в граничном слое через 3–3,5 часа. При П:Ц=0,07 такое состояние, характеризующееся почти полным прекращением прохождения электрического тока (показания амперметра приближаются к 0), наступает уже через 7,5–8 часов; при П:Ц=0,10 соответственно через 8,5–10 часов, а при более высоких П:Ц – больше, чем через 10 часов. То есть в последних случаях раствор в граничном слое почти не обезвоживается и приближается к состоянию раствора, лежащего на водонепроницаемом основании.

В растворах, уложенных на водонепроницаемое основание, сопротивление  $R$  по толщине слоя в течение изучаемого периода изменяется лишь вблизи открытой поверхности. С увеличением количества полимера в поверхностном слое величина сопротивления интенсивно возрастает. Следует думать, что образование пленки на поверхности раствора приводит к обезвоживанию верхнего электрода, вызывая этим повышенное электрическое сопротивление. Это наблюдается в одинаковой мере как при пористом, так и при водонепроницаемом основании.

Кинетика предельного напряжения сдвига хорошо коррелируется с изменениями электропроводности граничного слоя для растворов на пористом и водонепроницаемом основаниях. Раствор интенсивно снижает пластичность в граничном с пористым основанием слое при уменьшении содержания полимера. В растворе с П:Ц=0 предельное напряжение сдвига быстро увеличивается в течение 3–3,5 часов, после чего рост почти прекращается, так как обезвоженный раствор теряет связность и в нем замедляется процесс формирования структуры.

Формирование структуры пенополимерцементного раствора в 20 мм слое на пористом и водонепроницаемом основаниях изучали с помощью пластометрии. Исследования показали, что раствор с П:Ц=0 на пористом основании увеличивает пластическую прочность и достигает максимальных значений в период 3–3,5 часа, после чего 20 мм слой раствора обезвоживается и прочность нарастает медленно (см. рис.1).

При введении в раствор полимера отмечается тенденция к замедлению формирования структуры. Количественная сторона данного явления может иметь разные объяснения. 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 после затворения кристаллизационные процессы почти не протекают, поэтому нарастание пластической прочности в бесполимерных составах и составах с малым П:Ц можно отнести только за счет потери раствором влаги.

В дальнейшем ослабляющее воздействие латекса на кристаллизацию гидратных новообразований проявляется более четко. Действительно, пенополимерцементный раствор с П:Ц=0,20 даже через сутки сохраняет видимые вязко-пластические свойства.

Водоудерживающая способность полимерной добавки особенно хорошо видна при сравнении пластограмм, полученных в 20 мм слое на пористом основании, с пластограммами, полученными в таком же слое на водонепроницаемом основании (рис.2).

Здесь очевидно, что замедление структурообразования зависит от добавки полимера. Несколько повышенная пластическая прочность раствора 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 10–20 %, а для раствора с П:Ц=0,20 – на 30–40 %. Причем эти величины значительно изменяются в различные сроки определения пластической прочности.

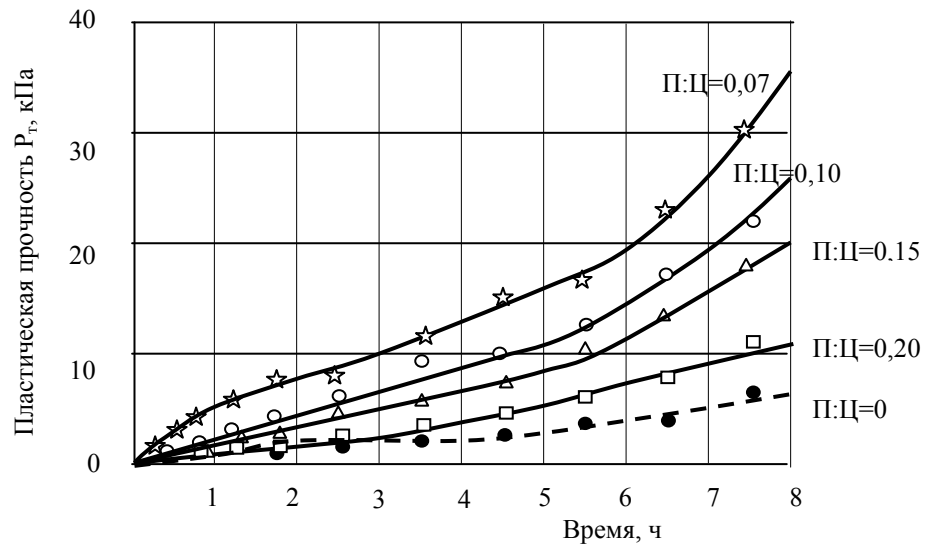


Рис.2. Изменение пластической прочности пенополимерцементных растворов в слое 20 мм на водонепроницаемом основании

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

#### Список литературы

1. Гусев, Н.И. Прочностные показатели полимерцементных композитов для наружного покрытия стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 36–40.
2. Гусев, Н.И. Методика исследований физико-механических свойств пенополимерцементных растворов для защиты наружных стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, А.С. Щеглова // Современная техника и технологии. – 2014. – №12(40). – С. 36–40.
3. Гусев, Н.И. Пенополимерцементные композиты на защите легкого бетона стен от воздействия окружающей среды / Н.И. Гусев, А.С. Щеглова // Современная техника и технологии. – 2014. – №11(39). – С. 97–99.

#### References

1. Gusev, N.I. Strength characteristics of polymer-matrix composites for the outer coating of the walls from foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 36–40.
2. Gusev, N.I. The research methodology of physical and mechanical properties foam polymer cement solutions to protect the outer walls from foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P. 36–40.
3. Gusev, N.I. Foam polymer cement composites to protect light concrete walls from environment / N.I. Gusev, A.S. Shcheglova // Modern techniques and technologies. – 2014. – №11 (39). – P. 97–99.

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»

**Чернышова Нина Александровна**,  
студент

*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 of building production technology»

**Chernyshova Nina Alexandrovna**,  
student

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО ЛАТЕКСА

Н.И. Гусев, Н.А. Чернышова

Показаны результаты исследования влияния технологических факторов на структурно-механические характеристики пенополимерцементных смесей для защитных покрытий пенобетонных стен отапливаемых зданий методом пластометрии.

*Ключевые слова: реологические свойства растворов, пластическая прочность, виды пластометров, структурообразование, влияние полимера на прочность сцепления защитного раствора с пенобетоном*

## RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER-CEMENT MORTAR ON SYNTHETIC LATEX

N.I. Gusev, N.A. Chernyshova

The study of technological factors influence on the structural and mechanical properties of polymer blends solution for protective coating of foam concrete walls of heated buildings with the method of plastometers is presented.

*Keywords: rheological properties of solutions, plastic strength, rheometer types, structures, effects on the adhesion strength of polymer solution with foam*

Полученные результаты исследования физико-механических свойств пенополимерцементных растворов свидетельствуют об их пригодности для защитно-отделочных покрытий стен из пенобетона при использовании в качестве полимерной добавки латекса СКС-65ГП, стабилизированного казеинатом аммония, с добавлением неионогенного мыла ОП-7. Экспериментальные данные получены для растворов при значениях П:Ц, равных 0,07; 0,10; 0,15; 0,20.

В технологии производства цементных и силикатных бетонов для контроля за временем проведения технологических операций, оценки активности вяжущих в начальной стадии твердения и влияния различных технологических факторов на структурно-механические характеристики смесей широкое применение нашел метод пластометрии. По установленной глубине погружения конуса  $h$  в см и нагрузке  $F$  вычисляется пластическая прочность  $P_T$  по следующей формуле:

$$P_T = \frac{F}{h^2}.$$

Для характеристики вяжущих веществ важное значение имеет не сама пластическая прочность, а кинетика ее изменения во времени. Кривые пластической прочности наилучшим образом отражают количественно процесс твердения вяжущего и позволяют судить о наиболее эффективном времени приложения тех или иных воздействий



на твердеющую смесь. Исследование реологических характеристик осуществляли методом пластометрии.

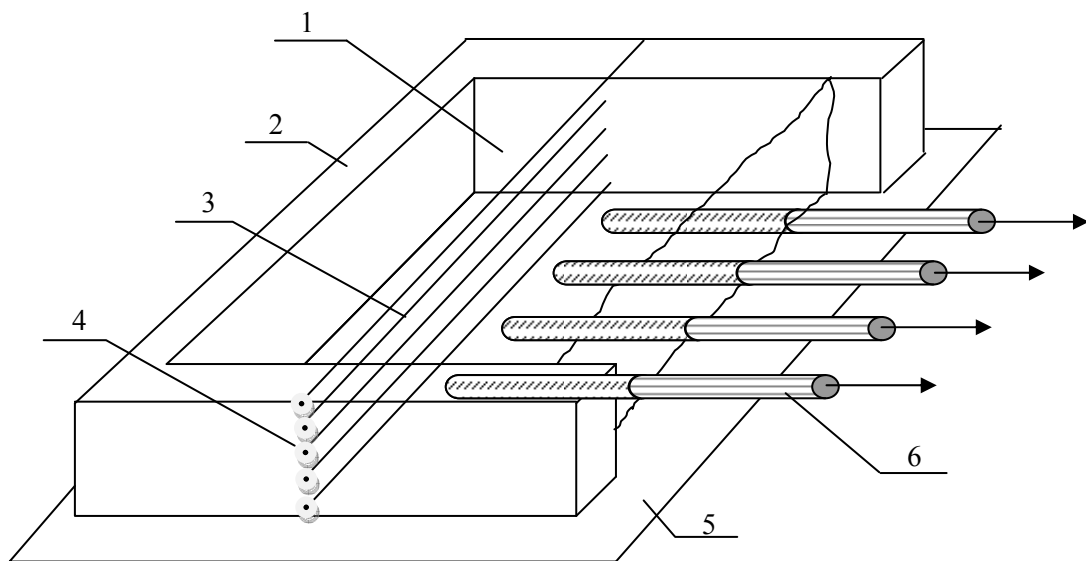
Известно более десятка различных конструкций пластометров. Однако они имеют общий недостаток, а именно наличие механической связи между опускающимся конусом (нагрузка  $F$ ) и шкалой отсчета, что искажает истинное значение величины  $F$  и, следовательно,  $P_T$ .

В наших исследованиях использовался фотоэлектрический пластометр. Пластометр применялся для изучения некоторых реологических характеристик пенополимерцементных растворов на стадии структурообразования.

Изменение структуры наблюдалось по высоте защитно-отделочного слоя из пенополимерцементного раствора толщиной 20 мм при размещении его на водонепроницаемом основании и на пористом основании из пенобетона с  $\gamma = 700 \text{ кг/м}^3$ .

Косвенную характеристику структурных изменений получали путем замера омического сопротивления раствора между электродами, расположенными через 5 мм по высоте слоя раствора. Первый электрод лежал на граничном слое основания, последний – на поверхности раствора (см. рисунок). Сопротивление замерялось в момент укладки раствора, а затем через 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60 минут и далее через каждый час до получения максимальных значений.

Для определения предельного напряжения сдвига раствора в граничном слое на дно формы укладывали стальные штифты диаметром 5 мм и длиной 40 мм с кольцевой нарезкой 0,5x0,5 мм. Усилие на выдергивание штифтов определяли в момент укладки раствора, а также через 30 мин, 1 час 15 мин, 2 часа 30 мин и в момент прекращения испытания (через 7–10 часов).



Определение структурных изменений пенополимерцементного раствора:

- 1 – исследуемый раствор; 2 – форма из оргстекла; 3 – электроды; 4 – клеммы электродов;  
5 – пористое или водонепроницаемое основание; 6 – штифты

Изменение предельного напряжения сдвига сопоставляли с изменениями электропроводности раствора между электродами I-II, II-III, III-IV, IV-V. Расчленение защитно-отделочного слоя через 5 мм по высоте позволяет проследить кинетику воздействия на структурообразование раствора пористого основания.

Влияние технологических факторов на прочность сцепления пенополимерцементного раствора с пенобетоном изучалось по двум направлениям. Известно, что в практике отделки панелей отделяемые поверхности могут быть совершенно неоднородными и отличаться по пористости, шероховатости, наличию цементно-водной или масляной пленки и т.п. Поэтому прочность сцепления пенополимерцементного раствора с такими поверхностями пенобетона будет различной. Вся

основная серия испытаний была проделана на поверхностях, обработанных крупнозернистым наждачным камнем. Плоскость контакта с раствором получалась ровной и гладкой. Для сравнения прочность сцепления была проверена на других видах поверхности, которые могут быть получены в производственных условиях.

Учитывая большую пористость пенобетона и высокую адгезионную способность дивинилстирольного латекса, очевидно, что большое влияние на прочность сцепления окажет характер смачивания поверхности пенобетона. Известно, что для повышения сцепления свежего каучукцементного раствора со старым бетоном последний необходимо увлажнять водой или разжиженной в 4–5 раз дисперсией поливинилацетата, а также специальными грунтовочными составами, например, на основе синтетической водоразбавимой смолы Р-С1. Под окрасочные латекс-цементными красками слой поверхность пенобетона грунтуют латексом, разведенным водой до 12–15 % концентрации. Причиной высокой склеиваемости полимерцементных растворов с бетоном является их повышенная прочность на растяжение и изгиб, хорошая адгезия, а также способность полимеров к прониканию в толщу старого бетона или раствора. Эффективность же проникания будет зависеть от пористости бетона и от степени заполнения его пор другим материалом, например водой или латексом. Предварительная грунтовка пенобетона латексом в зависимости от его концентрации будет по-разному влиять на степень проникания полимера в бетон, как в процессе нанесения грунтовки, так и при последующей миграции полимера из полимерцементного раствора.

Учитывая большое влияние характера подготовки раствора на его сцепление с пенобетоном, на фрезерованную поверхность кубов из пенобетона наносили пенополимерцементный раствор различных видов подготовки. Через 14 суток выдерживания при температуре +20°C и влажности 50–60 % двухслойные образцы испытывали на прочность сцепления и на морозостойкость по разработанной нами методике.

Технология отделки панелей декоративным пенополимерцементным раствором предусматривает обработку поверхности раствора после его схватывания циклеванием или шлифованием. Момент возможности циклевания устанавливается путем последовательно выполняемых проб. Считается, что фактурная обработка поверхности повышает ее эксплуатационную стойкость. Наиболее стойкими являются шлифованные, рифленые и бугристые фактуры.

### Список литературы

1. Кочеткова, М.В. Предпосылки к выбору оптимальных композиций пенополимерцементных составов для защитно-отделочных покрытий стен из пенобетона / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, Е.С. Аленкина // Современная техника и технологии. – 2014. – №12 (40). – С. 115–118.
2. Гусев, Н.И. Морозостойкость защитно-отделочных покрытий наружных стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, О.А. Гончаренко // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3(24). – С. 20–24.
3. Гусев, Н.И. Прочностные показатели полимерцементных композитов для наружного покрытия стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 36–40.
4. Гусев, Н.И. Прочность сцепления пенополимерцементных растворов с пенобетонными наружными стенами отапливаемых зданий / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 52–57.
5. Гусев, Н.И. Методика исследований физико-механических свойств пенополимерцементных растворов для защиты наружных стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, А.С. Щеглова // Современная техника и технологии. – 2014. – №12(40). – С. 36–40.
6. Гусев, Н.И. Выполнение строительных процессов с применением растворов и бетонов / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, Е.С. Аленкина // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 5–1 (37). – С. 20.

## References

1. Kochetkova, M.V. Background to the selection of optimum compositions foam polymer cement compositions for protective and decorative coatings wall of foam / M.V. Kochetkov, N. I. Gusev, E.S. Alenkina // *Modern techniques and technology*. – 2014. – №12 (40). – P 115–118.
2. Gusev, N.I. Frost protective coating and finishing the exterior walls of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, O.A. Goncharenko // *Regional architecture and engineering*. – 2015. – №3 (24). – P. 20–24.
3. Gusev, N.I. Strength performance polymer-matrix composites for exterior wall covering of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // *Regional architecture and engineering*. – 2014. – №4. – P. 36–40.
4. Gusev, N.I. Bond strength of foam polymer cement solutions with foam concrete exterior walls of heated buildings / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // *Regional architecture and engineering*. – 2014. – №4. – P. 52–57.
5. Gusev, N.I. Research methods of physical and mechanical properties of foam polymer cement solutions to protect the outer walls of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // *Modern techniques and technology*. – 2014. – №12 (40). – P. 36–40.
6. Gusev, N.I. Execution of construction processes using mortars and concretes / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, E.S. Alenkina // *Modern scientific research and innovation*. – 2014. – № 5–1 (37). – P. 20.

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»

**Кочеткова Майя Владимировна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: M.V.Kochetkova@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

**Gusev Nikolai Ivanovich**,  
Candidate of Sciences, Professor  
of the department «Quality management  
and of building production technology»

**Kochetkova Maya Vladimirovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Quality management and  
of building production technology»  
E-mail: M.V.Kochetkova@mail.ru

## СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА

Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова

Представлены результаты исследования процессов структурообразования пенополимерцементных растворов с помощью фотоэлектрического пластометра, влияющего на технологические характеристики количества полимерной составляющей на различных стадиях структурообразования защитного раствора.

*Ключевые слова: кристаллическая структура, аморфная структура, гидролиз клинкерных минералов, центры кристаллизации, сцепление кристаллов, вязко-пластические свойства раствора, деформация ползучести*

### STRUCTURE FORMATION OF POLYMER CEMENT MORTAR

N.I. Gusev, M.V. Kochetkova

Results of studies to develop a process based on the structure formation of polymer cement mortar with a photoelectric effect on rheometer with processability for the amount of the polymer component at various stages of the structure of the protective mortar are presented.

*Keywords: crystal structure, amorphous structure, hydrolysis of clinker minerals, nucleation, crystal clutch, visco-plastic properties of solution, creep*

Полимерцементные растворы имеют частично кристаллическую, частично аморфную структуру. При затворении цементно-песчаной смеси водой происходит растворение и гидролиз клинкерных минералов с образованием пересыщенных растворов. Дальнейшее насыщение ведет к возникновению центров кристаллизации новообразований. Из кристалликов возникает коагуляционная структура, состоящая из мельчайших частиц находящихся в воде новообразований, обладающая небольшой прочностью. Начинается схватывание цемента. За счет срастания кристаллов новообразований и заполнения микропор гидросиликатами кальция происходит упрочнение структуры. Ее прочность зависит от формы и размеров кристаллов, прочности их сцепления, а также наличия микротрещин в стенках пор и капилляров. Количество и размеры пор зависят от соотношений компонентов, условий приготовления и выдерживания. Особое значение указанные факторы приобретают в пенополимерцементных растворах. Этим растворам свойственно наличие значительного количества разнообразных по форме размеров пор. Вводимый в различных количествах полимер заполняет мелкие поры, обволакивая поверхности крупных пор, что способствует упрочнению межпоровых перегородок.

Латекс СКС-65ГП, стабилизированный казеинатом аммония, замедляет процесс формирования структуры полимерраствора. Структурообразование цементного раствора характеризуется предельным напряжением сдвига  $P_T$ . Изменения пластической прочности пенополимерцементного раствора изучали при помощи фотоэлектрического пластометра с выдачей информации на диаграммную бумагу при скорости ее перемещения 1800 мм/час. Индентором служил конус с углом при вершине  $30^\circ\text{C}$ . Точность отсчета перемещения индентора составляла 0,1 мм.

Первоначальную нагрузку на конус – 35 г (собственный вес) – в дальнейшем по мере упрочнения структуры увеличивали, обеспечивая погружение конуса не менее чем на 8–10 мм. В каждый период времени делали три замера с нахождением среднего значения величины погружения  $h$ . По полученным данным была построена пластограмма изменений пластической прочности пенополимерцементных растворов с объемной массой смеси 1450–1550 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от П:Ц (рис. 1).

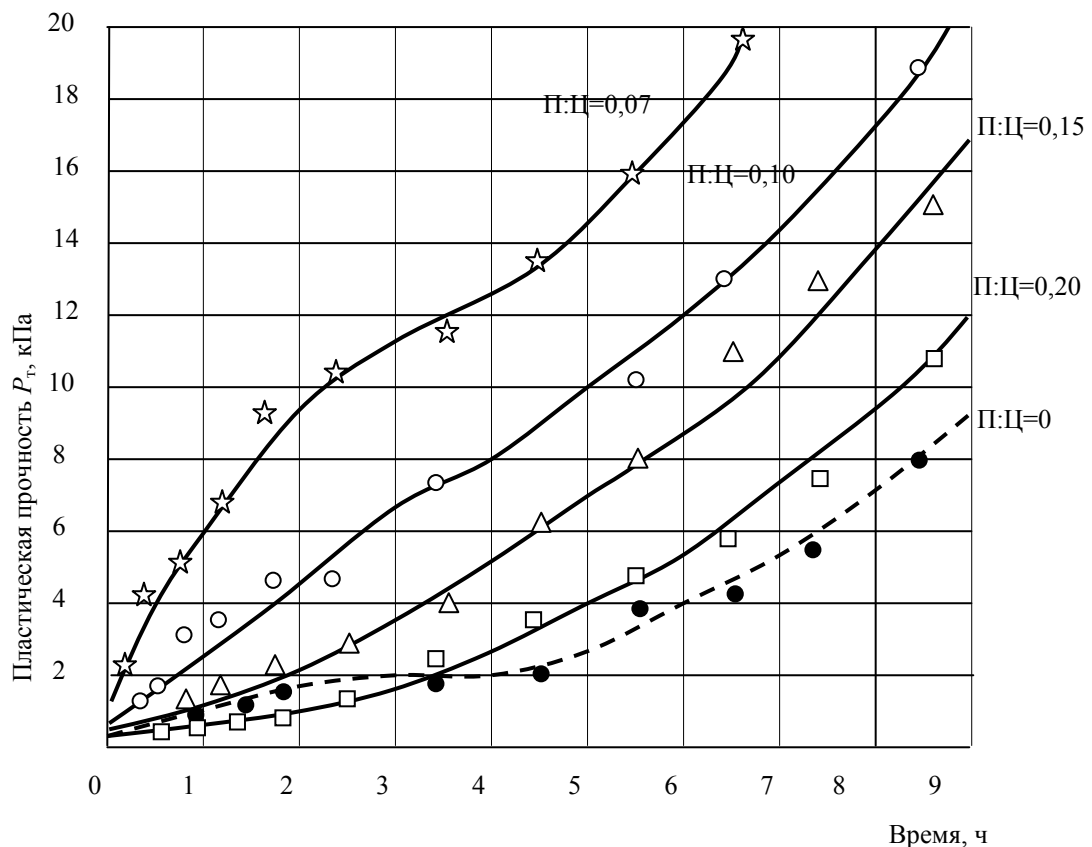


Рис. 1. Изменение пластической прочности пенополимерцементного раствора в зависимости от П:Ц

Хотя введенный в раствор полимер способствует увеличению пластической прочности, при увеличении его количества этот эффект ослабляется. Такая аномалия свидетельствует о том, что природа явления не отображает непосредственно кинетику гидратации. Повышенную пластическую прочность пенополимерцементных составов можно, вероятно, объяснить рядом факторов, а именно: значительным понижением В:Ц, повышенной вязкостью полимерцементных составов, быстрым образованием упругой пленки на поверхности раствора, которая замедляет внедрение индентора в раствор.

С увеличением П:Ц растворы длительное время сохраняют вязко-пластические свойства – «не каменеют». Даже через сутки в растворе с П:Ц=0,20 и более индентор легко внедряется и потенциометр выдает диаграмму деформаций (рис. 2).

При увеличении П:Ц формирование структуры напоминает замедленное отверждение аморфного материала, при низком же П:Ц, а особенно при П:Ц=0, более выражается кристаллическое структурообразование. В связи с этим можно предположить,

что высокие эластические свойства пенополимерцементных растворов на начальном этапе структурообразования могут вполне компенсировать повышенные усадочные деформации, свойственные этим растворам, за счет релаксации напряжений и обеспечить, таким образом, трещиностойкость материала до момента упрочнения его структуры.

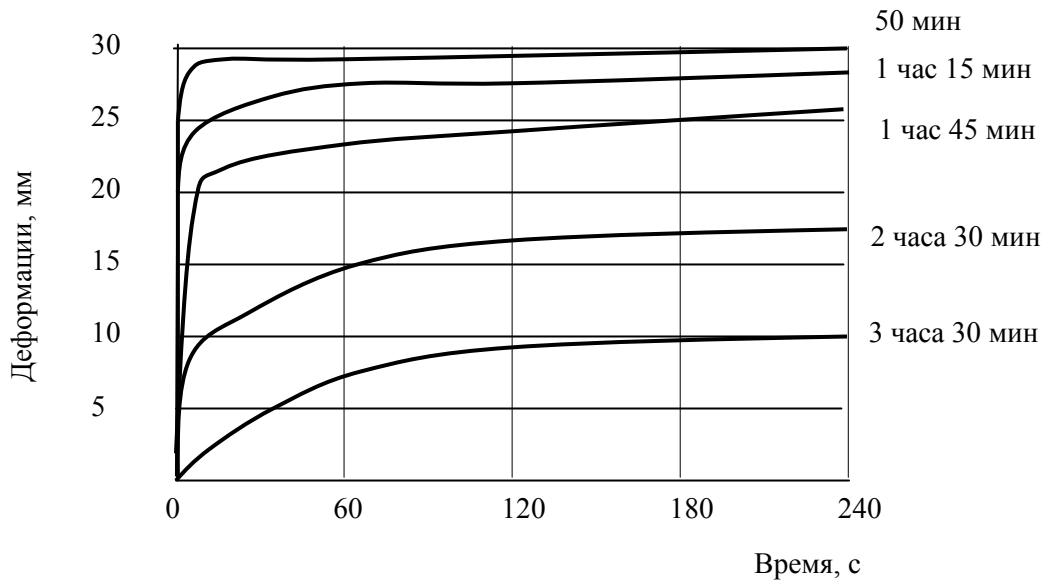


Рис. 2. Изменение развития пластических деформаций пенополимерцементного раствора с П:Ц=0,20 в начальный период структурообразования

Вязко-пластические свойства полимерцементных композиций зависят от протекания процесса деформаций при внедрении индентора в начальный и последующие периоды. Записывающий прибор дал возможность разграничить быстро протекающую и медленно развивающуюся части деформаций. При анализе диаграмм полные деформации под конусом разграничивали в пределах трех временных границ, равных 3, 20 и 60 сек. Деформативность систем под нагрузкой характеризовали по принятому нами параметру вязко-пластичности  $\lambda$ , равному отношению замедленной деформации к полной деформации. На рис.3 показана зависимость вязко-пластичности смесей от полимерцементного отношения.

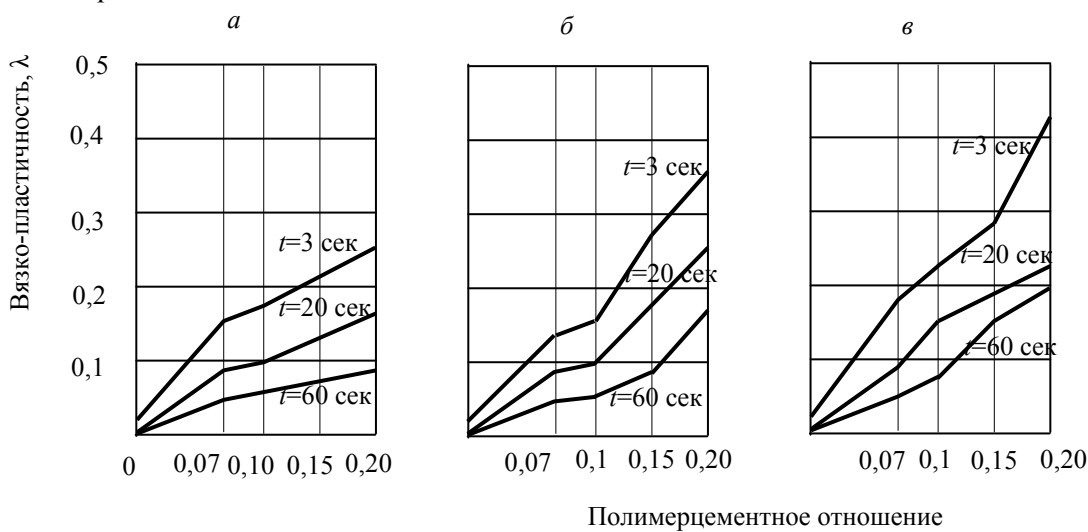


Рис. 3. Зависимость вязко-пластичности смеси от полимерцементного отношения: а – через 1 час 15 мин; б – через 2 часа 30 мин; в – через 3 часа 30 мин после затворения

Смеси с повышенным содержанием полимера характеризуются замедленным развитием деформаций. Напротив, смеси без полимера обладают ограниченной вязкостью и значение  $\lambda$  приближается к 0. То есть деформации протекают сразу и почти до конца. Эти данные свидетельствуют о лучших технологических свойствах полимерных композиций, предназначенных для нанесения на бетон в виде сплошного тонкого слоя. Они обладают лучшей прилипаемостью и повышенной трещиностойкостью. Вязко-пластические свойства растворов возрастают со временем, прошедшим после затворения. В начальный же период это свойство проявляется слабее, что важно для удобоукладываемости раствора.

При повышенном содержании полимера в композициях, по нашим данным, более 10 % деформаций ползучести могут развиваться в течение довольно длительного периода. Например, для состава с П:Ц=0,20 процесс погружения индентора приближается к почти полному замедлению лишь через 10-12 минут. Системам без полимерной добавки свойственна Г-образная диаграмма деформирования (рис. 4).

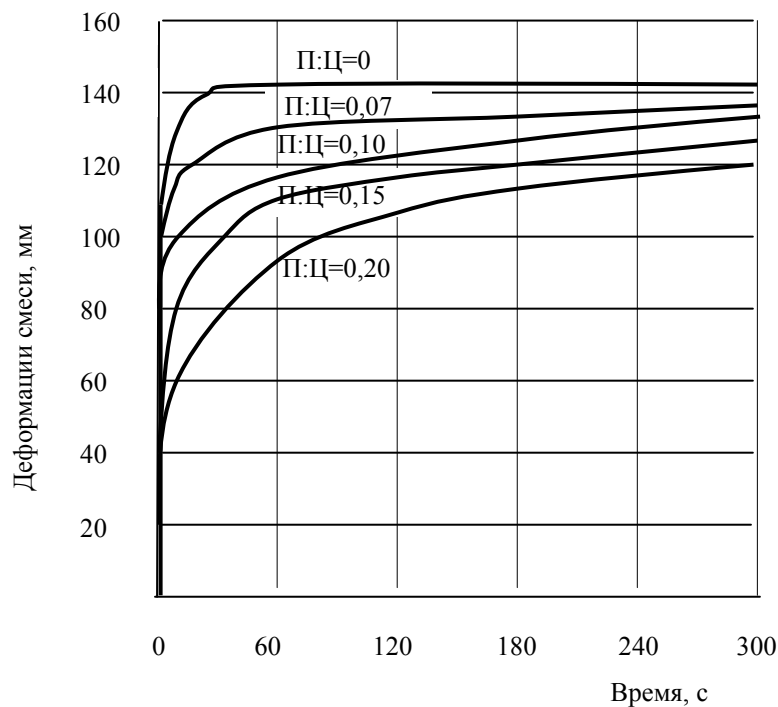


Рис. 4. Развитие деформации ползучести пенополимерцементных растворов в зависимости от полимерцементного отношения

Таким образом, формирование структуры пенополимерцементных растворов в значительной степени зависит от количества вводимого полимера, который улучшает их реологические свойства именно в том направлении, которое можно считать благоприятным при применении изучаемых растворов в защитных покрытиях панелей из пенобетона.

#### Список литературы

1. Кочеткова, М.В. Предпосылки к выбору оптимальных композиций пенополимерцементных составов для защитно-отделочных покрытий стен из пенобетона / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, Е.С. Аленкина // Современная техника и технологии. – 2014. – №12 (40). – С. 115–118.
2. Гусев, Н.И. Морозостойкость защитно-отделочных покрытий наружных стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, О.А. Гончаренко // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3(24). – С. 20–24.

3. Гусев, Н.И. Прочностные показатели полимерцементных композитов для наружного покрытия стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 36–40.

#### References

1. Kochetkova, M.V. Background to the selection of optimum compositions foam polymer cement compositions for protective and decorative coatings wall of foam / M.V. Kochetkov, N. I. Gusev, E.S. Alenkina // Modern techniques and technology. – 2014. – №12 (40). – P.115–118.

2. Gusev, N.I. Frost protective coating and finishing exterior walls of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, O.A. Goncharenko // Regional architecture and engineering. – 2015. – №3 (24). – P. 20–24.

3. Gusev, N.I. Strength performance polymer-matrix composites for exterior wall covering of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 36–40.



# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624.1; 624.9; 627.4; 627.5

*Дальневосточный федеральный университет Инженерная школа*  
Россия, 690021, г. Владивосток,  
о. Русский, п. Аякс, кампус ДВФУ, Е 819  
тел. +7(423) 265-24-24 (доб. 4091)

**Цимбельман Никита Яковлевич**,  
кандидат технических наук, доцент,  
зав. кафедрой «Гидротехника, теория  
зданий и сооружений»  
E-mail: nikzimb@mail.ru

**Чернова Татьяна Игоревна**,  
аспирантка кафедры «Гидротехника,  
теория зданий и сооружений»  
E-mail: ch\_t\_i@mail.ru

**Шмыков Алексей Александрович**,  
аспирант кафедры «Гидротехника,  
теория зданий и сооружений»  
E-mail: shmikoff@mail.ru

*Far Eastern Federal University Engineering school*

Russia, 690021, Vladivostok, Russky Isl.,  
Ayaks bay, FEFU campus, E 819  
tel.: 7(423) 265-24-24 (add. 4091)

**Tsimbelman Nikita Yakovlevich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department «Offshore &  
Structural Engineering»  
E-mail: nikzimb@mail.ru

**Chernova Tatiana Igorevna**,  
Postgraduate of the department «Offshore &  
Structural Engineering»  
E-mail: ch\_t\_i@mail.ru

**Shmykov Aleksey Alexandrovich**,  
Postgraduate of the department «Offshore &  
Structural Engineering»  
E-mail: shmikoff@mail.ru

### ПАРАМЕТРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА С НАПОЛНИТЕЛЕМ

Н.Я. Цимбельман, Т.И. Чернова, А.А. Шмыков

Рассмотрены массивные сооружения, состоящие из тонкой стальной оболочки большого диаметра, заполненной грунтом. Приведено описание математической модели цилиндрической оболочки с наполнителем, опирающейся торцом на сжимаемое основание и испытывающей действие внецентренных нагрузок. Предложен метод назначения и экспериментального определения характеристик промежуточного слоя, моделируемого на контакте наполнителя с внутренней поверхностью оболочки. Подробно рассмотрены этапы построения и испытания физической модели оболочки. На основе сопоставления результатов эксперимента с расчётами, выполненными с использованием предложенной математической модели, определён диапазон допустимых значений параметра, описывающего взаимодействие внутренней поверхности материала оболочки и грунтового наполнителя.

*Ключевые слова: тонкая оболочка, грунтовый наполнитель, сжимаемое основание, математическая модель, эксперимент*

## PARAMETERS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF SHELL STRUCTURES WITH INFILL

N.Y. Tsimbelman, T.I. Chernova, A.A. Shmykov

Thin massive metal shells with soil infill are considered in this article. A mathematical model for the stresses on compressible foundation soil in front of a thin cylindrical shell with infill due to the eccentric loading is described. Modeling and experimental determination of the interface strength of the contact surface between the infill and the inner surface of the shell is proposed. The details of the construction stages and testing of the physical model used for the experiments are discussed. The effects of the interface friction on the shell behavior and on the foundation stresses in front of the wall are investigated. The influence of parameters affecting the interaction between the soil infill and the inner surface of the shell material is determined.

*Keywords: thin shell, soil infill, compressible foundation soil, mathematical model, experiment*

**Введение.** Применение пространственных оболочечных конструкций является одним из направлений повышения эффективности строительства. Тонкостенные оболочки с грунтовым наполнителем – комбинированные конструкции, направленные на наиболее эффективное использование положительных свойств составляющих их материалов: стальной или железобетонной оболочки и сыпучего наполнителя (как правило, в качестве наполнителя применяется крупнообломочный грунт). Напряжённно-деформированное состояние такой конструкции во многом зависит от формы оболочки и соотношения основных размеров [10]. В работе рассматриваются стальные цилиндрические оболочки (рис. 1) большого диаметра (отношение диаметра к высоте  $D/h \approx 0.7 \div 1.0$ , отношение толщины стенки к радиусу  $\delta/R < 0,05$ ).

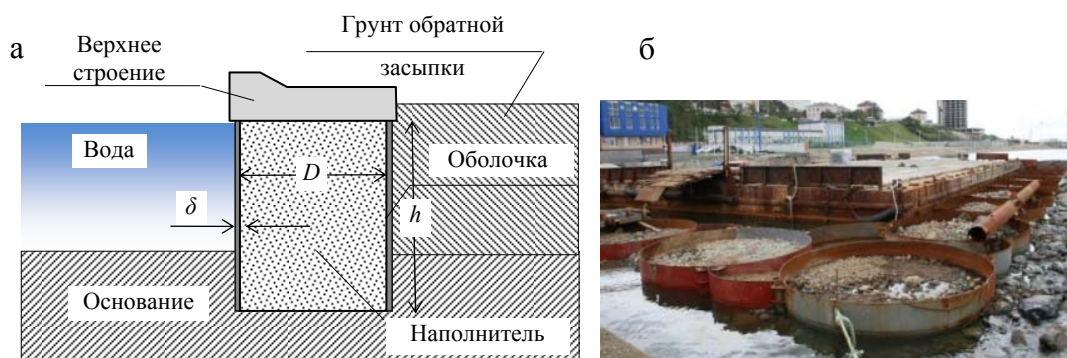


Рис. 1. Пример применения оболочек большого диаметра с наполнителем:  
а – схема вертикального сечения оболочки (причальная стенка); б – процесс строительства причальной набережной в бухте Фёдорова, г. Владивосток

Наибольший расчётный интерес представляет случай, когда оболочка испытывает внецентренное нагружение под действием комплекса нагрузок в различных сочетаниях [4]. При расчёте оболочки с внутренним наполнителем важным этапом построения расчётной модели, создаваемой с целью оценки напряжённно-деформированного состояния конструкции, является моделирование условий взаимодействия на контакте оболочки и наполнителя. Эти условия зависят как от напряжений, передаваемых наполнителем на внутреннюю поверхность оболочки, и от свойств самого наполнителя, так и от состояния поверхности оболочки (шероховатости поверхности). Состояние внутренней поверхности оболочки зависит от выбранного материала, способа изготовления её элементов и технологии их соединения, технологии монтажа, наличия временных и постоянных связей и диафрагм и др.

Учёт условий трения наполнителя по поверхности оболочки и степени её «шероховатости» при формировании расчётной модели описывается свойствами вводимого в модель условного промежуточного слоя, расположенного между оболочкой и наполнителем. Вводимый слой (так называемый «Интерфейс») позволяет учесть снижение

прочностных характеристик наполнителя на контакте с внутренней поверхностью оболочки. В работе предлагается способ построения расчётной модели переходного слоя и экспериментальный способ определения его параметров.

**Методы расчёта оболочек с наполнителем.** К настоящему времени накоплен обширный опыт разработки теории и методов решения задач статики и динамики отдельных элементов оболочечных конструкций. Основополагающие результаты в области механики оболочек отражены в трудах выдающихся учёных и инженеров [3-5].

При расчёте оболочек с наполнителем, воспринимающих сложный комплекс нагрузок и опирающихся на податливое основание, традиционные методы, основанные на последовательном упрощении уравнений пространственной теории упругости, как правило, неэффективны, в частности, из-за их сложности. Широкое распространение в настоящее время получили численные методы решения задач теории оболочек [1, 4, 8, 9]. Их развитие связано с совершенствованием современной вычислительной техники, что открывает большие возможности в решении сложных задач механики деформируемого твёрдого тела. Среди численных методов расчета оболочек наиболее распространён метод конечных элементов (МКЭ). Далее предложена модель цилиндрической оболочки с внутренним наполнителем, позволяющая оценить напряжённо-деформированное состояние конструкции, построенная на основе метода конечных элементов. Модель реализована в программном комплексе PLAXIS.

**Модель оболочки с наполнителем.** Основным элементом описываемой конструкции является грунт – внутренний наполнитель оболочки; грунт служит также основанием сооружения. В модели внутренний наполнитель рассматривается как упруго-пластический цилиндр, а основание – как упругопластическое полупространство. Грунтовый наполнитель и основание рассматриваются как пластически сжимаемые упругопластические тела. Для описания картины происходящих в толще грунта процессов в качестве расчетной выбрана модель Кулона-Мора в следующей форме.

В отличие от стандартной модели упругой идеальной пластичности модель Кулона-Мора имеет многоповерхностный контур текучести [9]. Условие текучести Кулона-Мора является продолжением закона трения Кулона для общего напряженного состояния. Данное условие может быть полностью определено с помощью трёх функций текучести при представлении их в виде функций главных напряжений  $\dot{\sigma}_1, \dot{\sigma}_2, \dot{\sigma}_3$ :

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_2 - \dot{\sigma}_3] + \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_2 - \dot{\sigma}_3] \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0; \\ f_2 &= \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_3 - \dot{\sigma}_1] + \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_3 - \dot{\sigma}_1] \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0; \\ f_3 &= \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_1 - \dot{\sigma}_2] + \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_1 - \dot{\sigma}_2] \sin \varphi - c \cos \varphi \leq 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Для выполнения условия текучести необходимы два параметра: угол внутреннего трения  $\varphi$  и удельное сцепление  $c$ . Функции текучести формируют неправильную гексагональную пирамиду в пространстве главных напряжений. Помимо функции  $f$  для модели Кулона-Мора определяются функции пластического потенциала:

$$\begin{aligned} g_1 &= \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_2 - \dot{\sigma}_3] + \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_2 - \dot{\sigma}_3] \sin \psi; \\ g_2 &= \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_3 - \dot{\sigma}_1] + \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_3 - \dot{\sigma}_1] \sin \psi; \\ g_3 &= \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_1 - \dot{\sigma}_2] + \frac{1}{2}[\dot{\sigma}_1 - \dot{\sigma}_2] \sin \psi. \end{aligned} \quad (2)$$

Эти функции содержат ещё один параметр пластичности, угол дилатансии  $\psi$ , который характеризует изменение объёма материала при сдвиговой деформации.

Для построения модели оболочки применён программно-вычислительный комплекс PLAXIS 3D Foundation v2.2 [2]. В отличие от многих программ PLAXIS использует точную форму полной модели Кулона-Мора с резким переходом от одной поверхности к другой, что выделяет её среди других [2]. Криволинейная поверхность оболочки моделируется стандартным набором инструментов PLAXIS («Circular tube») с последующей автоматической триангуляцией конечно-элементной сетки. Для зон, представляющих интерес (опорные зоны оболочки), необходимо назначать дополнительные кластеры с последующим измельчением сетки для более точного описания картины изополей напряжений.

Для описания условий взаимодействия на контакте наполнителя с внутренней стенкой оболочки в расчётную модель вводится условный промежуточный (переходной) слой, который моделируется специальным элементом, обозначенным в рассматриваемой программе как «Интерфейс» [2]. Этот слой вводится для возможности моделирования процесса снижения прочностных характеристик грунта (сил трения, сцепления и других параметров, зависящих от выбранной математической модели) на контакте оболочка – грунтовый массив (рис. 2). Свойства материала переходного слоя связаны со свойствами грунта и вводятся в те же наборы данных, что и свойства грунтов. Слои, примыкающие к рассматриваемому кластеру или находящиеся в нём, получают тот же набор данных. В данном случае для описания поведения интерфейсов при моделировании взаимодействия между грунтом и сооружением применяется упругопластическая модель.

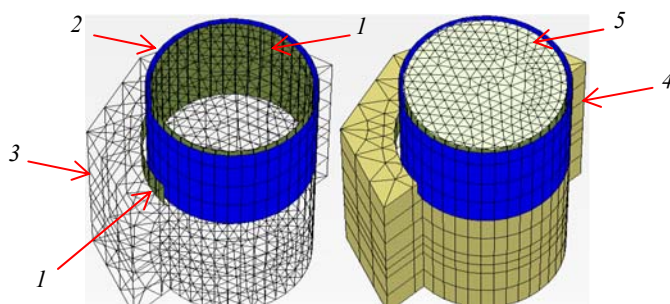


Рис. 2 Расположение условных слоев (интерфейсов) в модели:

- 1 – интерфейс; 2 – элемент конструкции (оболочка); 3 – контур моделируемого грунта;
- 4 – модель грунта снаружи оболочки; 5 – модель внутреннего наполнителя

Для проведения границы между упругим поведением интерфейса, при котором внутри него могут иметь место небольшие перемещения, и его пластичным поведением (проскальзыванием) используется критерий Кулона. Для того чтобы переходной слой оставался упругим, напряжение сдвига  $\tau$  должно задаваться следующим выражением:

$$|\tau| < \sigma_n \tan \varphi_i + c_i, \quad (3)$$

где  $|\tau| = \sqrt{\tau_{s1}^2 + \tau_{s2}^2}$ . (4)

Здесь  $\tau_{s1}$  и  $\tau_{s2}$  – напряжения сдвига в двух (перпендикулярных) направлениях, а  $\sigma_n$  – эффективное нормальное напряжение. В случае пластического поведения  $\tau$  задается формулой

$$|\tau| < \sigma_n \tan \varphi_i + c_i, \quad (5)$$

где  $\varphi_i$  и  $c_i$  – угол внутреннего трения и удельное сцепление интерфейса соответственно.

Прочностные свойства интерфейса связаны с прочностными свойствами слоя грунта. Набор данных слоя-интерфейса имеет свой коэффициент снижения прочности

$R_{inter}$  [2]. Свойства интерфейсов определяются на основе свойств грунта из соответствующего набора данных и коэффициента снижения прочности по следующим правилам:

$$c_i = R_{inter} c_{soil}; \quad (6)$$

$$\tan \varphi_i = R_{inter} \tan \varphi_{soil} \leq \tan \varphi_{soil}; \quad (7)$$

$$\psi_i = 0 \text{ для } R_{inter} < 1. \quad (8)$$

Таким образом, модель переходного слоя при известных параметрах модели грунта описывается величиной коэффициента снижения прочности. Для  $R_{inter} = 1$  свойства переходного слоя-интерфейса, включая угол дилатансии  $\psi_i$ , будут те же, что и свойства грунта в наборе данных. При реальном взаимодействии между сооружением и грунтом интерфейс имеет меньшую прочность и является более гибким, чем соответствующий слой грунта ( $R_{inter} < 1$ ). Ввиду ограниченности достоверных практических указаний о назначении данного коэффициента к выбранному типу грунта, находящемуся в составе рассматриваемой конструкции, проведена работа по его определению применительно к цилиндрическим оболочечным конструкциям, заполненным сыпучим материалом. В результате сопоставления данных эксперимента и расчёта сооружения по имеющейся модели предложен диапазон приближенных значений коэффициента снижения прочности.

В качестве примера приведено построение расчётной схемы малой модели оболочки, заполненной песчаным грунтом. Выполнено численное моделирование всех условий эксперимента для обеспечения возможности прямого сопоставления результатов численного моделирования и физического эксперимента с целью верификации математической модели и определения параметров переходного слоя – интерфейса на контакте оболочки с внутренним наполнителем. Необходимые параметры модели Кулона-Мора приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Параметры модели грунта

Характеристика	Ед. изм.	Наполнитель	Основание
Удельный вес $\gamma$	[кН/м <sup>3</sup> ]	16	18
Модуль упругости $E_{ref}$	[кН/м <sup>2</sup> ]	16000	23000
Угол внутреннего трения $\varphi$	[°]	26	32
Удельное сцепление $c$	[кН/м <sup>2</sup> ]	2	2
Угол дилатансии $\psi$	[°]	0	2
Коэффициент Пуассона $\nu$	[-]	0,3	0,3

**Эксперимент.** Выводы о допустимом диапазоне значений искомого параметра предложенной модели сделаны на основе анализа лабораторного эксперимента, проведённого авторами на физической модели оболочки, заполненной грунтом. Условия моделирования материала и конструкции оболочки, а также материала наполнителя должны обеспечивать полное подобие напряженного состояния природы и модели. Для решения этой задачи использованы методы теории подобия и анализа размерностей.

В данной серии испытаний выполнена фиксация деформаций и напряжений модели оболочки при внецентренном нагружении. Сопоставление полученных деформаций физической модели с перемещениями, полученными расчётом по предложенной математической модели, позволит подобрать допустимый диапазон значений искомого параметра математической модели – коэффициента снижения прочности  $R_{inter}$  на контакте оболочки с внутренним наполнителем.

Экспериментальная установка оборудована механизмом нагружения (нагрузка прикладывается горизонтально к оголовку оболочки), датчиками деформаций, а также

тензомерами для возможности определения напряжений в теле оболочки. Схема нагружения оболочки с основными размерами модели и лотка приведена на рис. 3.

Нагрузка к оголовку оболочки прикладывалась поэтапно, отдельными ступенями. Каждая последующая ступень нагрузки прикладывалась только после затухания деформаций от предыдущей ступени нагрузки. Фрагмент графика перемещения верха оголовка  $\Delta$  по оси приложения нагрузки (ось  $X$ ) в зависимости от прикладываемой нагрузки  $P$  приведен на рис. 4, кривая 1.

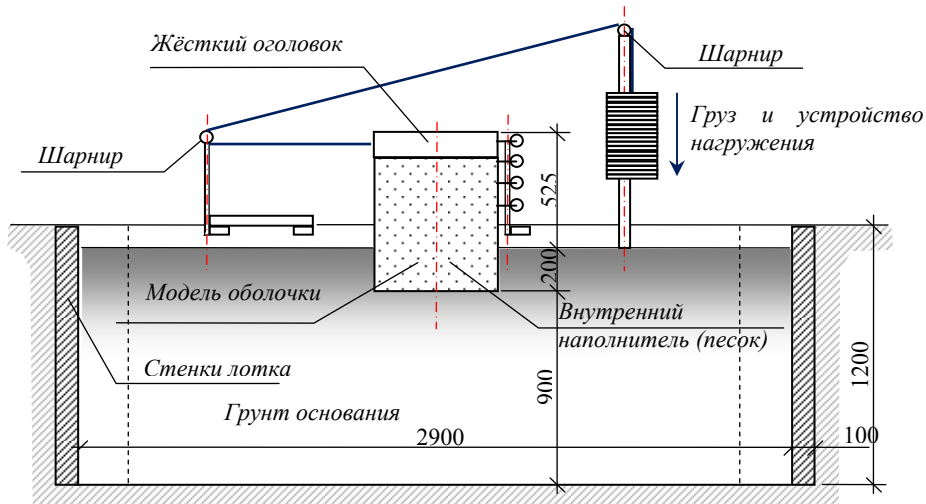


Рис. 3. Экспериментальная установка. Схема нагружения оболочки (размеры в мм)

Далее проведена серия расчётов по предложенной математической модели сооружения. Поскольку расчёт выполнен для условий, точно соответствующих условиям проведённого эксперимента (размеры, характеристики грунта, условия нагружения и др.), существует возможность прямого сопоставления данных расчёта и эксперимента. Выполнена серия расчётов для различных значений коэффициента снижения прочности  $R_{inter} = 0 \div 1$ , с шагом 0.1. Кривые 2, 3 и 4 на рис. 4 отражают расчётные перемещения, вычисленные для коэффициента  $R_{inter}$ , принятого равным 0.2, 0.3 и 0.4 соответственно.

В результате приемлемый диапазон значений искомого параметра математической модели – коэффициента снижения прочности  $R_{inter}$  на контакте оболочки с внутренним наполнителем составляет (0.3÷0.4). После установления допустимого значения коэффициента интерфейса  $R_{inter}$  выполнено сравнение расчётных напряжений, возникающих в теле оболочки, вычисленных по предложенной модели, со значениями напряжений, полученных экспериментально.

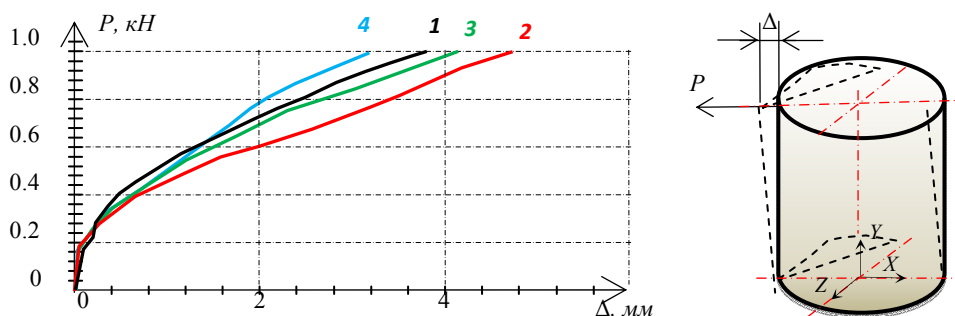


Рис. 4. График зависимости перемещения оболочки от нагрузки

При эксперименте для фиксации напряжений в теле оболочки использовалась тензометрическая установка российского производства ИДТЦ-01. Схема расположения тензометрических датчиков на теле конструкции оболочки приведена на рис. 5.

Полученные расчётом напряжения для сжатой опорной зоны оболочки (узел В) приведены на рис. 6. Полученные экспериментально напряжения в оболочке и их сопоставление с расчётными значениями приведены в табл. 3.

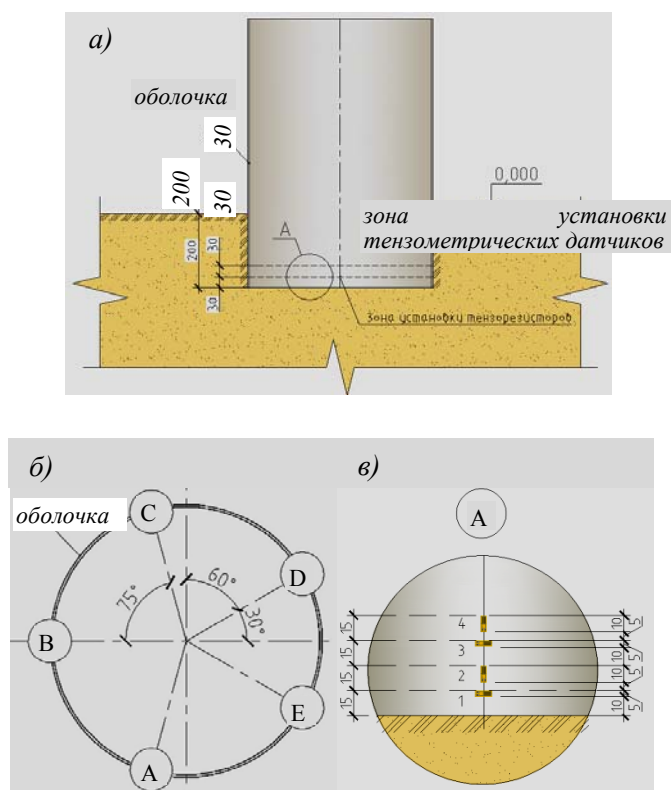


Рис. 5. Схема расположения тензометрических датчиков на оболочке:  
 а – общий вид установки; б – план расположения узлов;  
 в – пример расположения датчиков в узле

Т а б л и ц а 3  
 Сравнение результатов эксперимента с данными расчетной модели (узел В)

Направление действия усилия	Номер датчика	Напряжения в оболочке, кН/м <sup>2</sup>		Погрешность, %
		Эксперимент	PLAXIS	
Радиальные напряжения	1	-200,63	-181,75	9,4 %
	3	-699,69	-665,34	4,9 %
Напряжения по образующей	2	-242,06	-252,99	4,3 %
	4	-372,19	-389,51	4,4 %

В результате расхождение между расчётными значениями напряжений в опорной зоне оболочки и напряжениями, установленными экспериментально, составляет не более 5 % для радиальных напряжений и не более 10 % для напряжений по образующей оболочки.



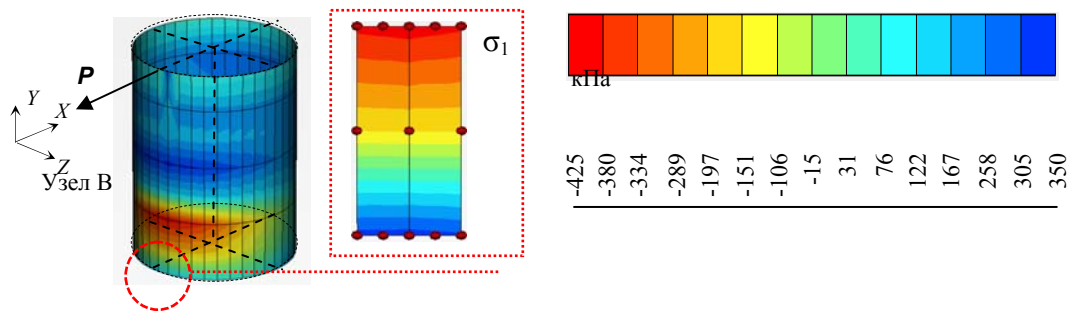


Рис. 6 Напряжения по образующей (ось  $Y$ ) в сжатой опорной части оболочки (для примера цветовая индикация приведена только для узла  $B$ )

**Выводы.** В работе предложена конечно-элементная модель внецентренно нагруженных оболочечных конструкций с наполнителем, реализованная с использованием программно-вычислительного комплекса PLAXIS 3D Foundation v2.2.

Важным фактором, влияющим на результаты расчёта по принятой математической модели, заложенной в программный комплекс, является параметр снижения прочностных характеристик  $R_{inter}$  в пределах так называемого интерфейса – элемента, через который осуществляется взаимодействие сред оболочки и наполнителя. Параметры интерфейса не могут быть определены без проведения физического эксперимента, при этом его свойства будут в значительной степени зависеть от характера взаимной работы элементов рассматриваемого сооружения.

С целью верификации предложенной модели проведены модельные испытания конструкции тонкостенной цилиндрической оболочки с наполнителем на податливом основании. В работе установлен рекомендуемый диапазон значений коэффициента снижения прочностных характеристик, предполагаемый к применению в расчётах тонкостенных стальных цилиндрических оболочек большого диаметра с внутренним грунтовым наполнителем, опирающихся на сжимаемые грунты основания. Диапазон значений искомого коэффициента составляет  $0,3 \div 0,4$ .

Выполнено сравнение значений напряжений, полученных расчётом по предложенной модели с данными эксперимента. В работе оценивались радиальные напряжения в оболочке и напряжения сжатия по образующей, возникающие в зоне контакта тонкой оболочки с основанием, которые являются определяющими для оценки местной устойчивости оболочки. Предложенная модель даёт результаты, хорошо соотносящиеся с данными эксперимента (отклонение значений напряжений в опорной зоне оболочки не превышает 10 %).

Дальнейшее развитие методики расчёта рассматриваемых сооружений может быть направлено на изучение долевого распределения давления между наполнителем и оболочкой по подошве сооружения, а также на учёт влияния неравномерной сжимаемости глубоко залегающих слоёв грунта на устойчивость сооружения.

#### Список литературы

1. Беккер, А.Т. Математическая модель оболочки с наполнителем для ограждающих сооружений / А.Т. Беккер [и др.] // Труды конференции ISOPE, 2014. – № 3. – С. 905–910.
2. Бринкгрив, Р.В. Руководство к программному комплексу PLAXIS 3D Foundation / Р.В. Бринкгрив. – Университет технологии & компания Plaxis. – Нидерланды, 2013. – 200 с.
3. Елтышев, В.А. Напряженно-деформированное состояние оболочечных конструкций с наполнителем / В.А. Елтышев. – М.: Наука, 1981. – 120 с.
4. Иванов, В.А. Приближенный расчет цилиндрических оболочек с заполнителем / В.А. Иванов, Ф.Х. Сафиуллин // Тезисы докладов. Сб. «Нелинейная теория оболочек и пластин». Казань, 1980. – С. 13–14.



5. Ильгамов, М.А. Прочность, устойчивость и динамика оболочек с упругим наполнителем / М.А. Ильгамов, В.А. Иванов, Б.В. Гулин. – М.: Наука, 1977. – 332 с.
6. Кентон, В. Анализ разрушающего воздействия льда открытых цилиндрических оболочек из шпунта с использованием трёхмерного моделирования. / В. Кентон, П.Е. Браун, Б. Фейфей, Л. Гуанг // Итоги семинара Plaxis, 2009. – № 26. – С. 12–17.
7. Крысько, В.А. Статика и динамика замкнутых цилиндрических оболочек при действии поперечной неравномерной нагрузки / В.А. Крысько, Н.Е. Савельев, К.Ф. Шагивалиев // Труды Университета. Проектирование, 2005. – №1. – С. 3-14.
8. Нэто, Е. Численное решение теории пластичности: теория и применение / Е. Нэто, Д. Перик, Д.Р. Оуэн. – John Wiley & Sons, 2008. – 385 с.
9. Семёнов, А.С. Вычислительные методы в теории пластичности / А.С. Семёнов. – Изд-во Политехнического университета, 2008. – 210 с.
10. Чернова, Т.И. Обзор оболочек с наполнителем в геотехническом строительстве / Т.И. Чернова, О. Бильгин, Н.Я. Цимбельман // Труды Международной конференции по механике грунтов, 2014. – С. 297–304.
11. Эриман, Т. Деформация тонких пластин на упругом основании/ Т. Эриман // Международный журнал Bautechnik. – 1969. – № 2. – С. 59–63.

### References

1. Bekker, A.T. Mathematical Model of the Shell with the Infill for Retaining Structures / A.T. Bekker [etc.] // The Proceedings of the Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference ISOPE, 2014. – № 3. – P. 905–910.
2. Brinkgreve, R.B.J. Tutorial Manual PLAXIS 3D Foundation / R.B.J. Brinkgreve. – Delft University of Technology & Plaxis. – Netherland, 2013. – P.200.
3. Eltyshev, V.A. The Mode of Deformation of the Shell Structures with the Infill / V.A. Eltyshev. – М.: Nauka, 1981. – P. 120.
4. Ivanov, V.A. Approximate calculation of cylindrical shells with infill / V.A. Ivanov, FH Safiullin // Abstracts. Coll. “Non-linear theory of shells and plates”. Kazan, 1980. – P. 13–14.
5. Il'gamov, M.A. Strength, stability and dynamics of shells with elastic infill / M.A. Il'gamov, V.A. Ivanov, B.V. Gulin. – М.: Nauka, 1977. – P. 332.
6. Kenton, W. Local ice crushing analyses of open cell sheet pile wall by 3D foundation / W. Kenton, P.E. Braun, B. Feifei, L. Guang // Plaxis bulletin, 2009. – № 26. – P. 12–17.
7. Krys'ko, V.A. Statics and dynamics of closed cylindrical shells under transverse uneven loading / V.A. Krys'ko, N.E. Savelyev, K.F. Shagivaleev // Proceedings of the Universities. Engineering, 2005. – №1. – P. 3–14.
8. Neto, E. Computational Methods for Plasticity: theory and application / E. Neto, D. Peric, and D.R. Owen. – John Wiley & Sons, 2008. – P. 385.
9. Semenov, A.S. Computational Approaches in the Theory of Plasticity / A.S. Semenov. – SPbGPU publishing house, 2008. – P. 210.
10. Chernova, T.I. Overview of Shells with Infill used in Geotechnical Engineering Applications. / T.I. Chernova, Ö. Bilgin, N.Ya. Tsimbelman // The Proceedings of the ISSMGE Technical Committee 207 International Conference on Geotechnical Engineering, 2014. – P. 297–304.
11. Ariman, T. Buckling of Thin Plates on Elastic Foundation / T. Ariman // Int. J. Bautechnik. – 1969. – № 2. – P. 59–63.

ООО Конструкторское бюро  
«Проект:Куйбышев»

Россия, 443030, Самара, ул. Чкалова,  
д. 100

**Мурашкин Василий Геннадьевич**,  
кандидат технических наук, доцент,  
финансовый директор ООО Конструк-  
торское бюро «Проект:Куйбышев»  
E-mail: murashkinvg@gmail.com

Ltd. Design Bureau «Project: Kuibyshev»

Russia, 443030, Samara, 100,  
Chkalova St.

**Murashkin Vasily Gennadievich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor,  
Financial Director of Design Bureau «Project:  
Kuibyshev»  
E-mail: murashkinvg@gmail.com

## МЕТОДИКА УЧЕТА РОСТА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.Г. Мурашкин

Предложена методика определения роста прочности бетона в железобетонных конструкциях на основе исследований различных российских и зарубежных ученых. Представлен пример влияния деградационного эффекта на состояние конструкции во времени и прогнозирования достижения заданной прочности.

*Ключевые слова:* рост прочности бетона, временной фактор, агрессивная среда, деградация бетона, остаточный ресурс

## METHODOLOGY FOR CALCULATING OF STRENGTH GROWTH OF CONCRETE AT PREDICTING RESOURCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

V. G. Murashkin

The article presents the method of calculating of strength growth of concrete in reinforced concrete structures based on the research of various Russian and foreign scientists. Example of the influence of degradation effect on the condition of the structure in time and prediction of achieving of specified strength is presented.

*Keywords:* increase of concrete strength, time factor, aggressive environment, degradation of concrete, residual life

Железобетон – относительно молодой по сравнению с деревом и металлом, строительный материал. Считается, что ему всего 160 лет с момента получения первого патента на его производство. Но доступность, технологическая простота и надежность использования железобетона в сложных сооружениях сделали его самым распространенным конструкционным материалом. Производство бетона для железобетонных изделий достигло в мире 2 млрд м<sup>3</sup> в год. Лидером производства является Китай – 430 млн м<sup>3</sup> в 2008 году, а в России в 2008 году изготовлено 52 млн м<sup>3</sup>. Бетон является вторым наиболее употребляемым после воды ресурсом.

Производство бетона и железобетона имеет ключевое значение для экономики РФ, поскольку определяет объемы жилищного, промышленного строительства и возведения объектов специального назначения. Расширение производства бетонных и железобетонных конструкций не было возможным без развития научных исследований. В СССР было создано несколько научных учреждений, занимающихся совершенствованием строительных конструкций, технологией их изготовления и подготовкой нормативных материалов.

Головной организацией стал Научно-исследовательский институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ), созданный в 1927 году по решению правительства и объединивший ученых более 300 вузов и других научных организаций по всей стране. Благодаря НИИЖБу научные достижения в области проектирования и расчетов железобетонных конструкций превзошли мировой уровень.

Выпущенные в 1955 году нормативные документы НИТУ 123-55 и в 1957 году СН 10-57 впервые в мировой практике были основаны на методе расчета по предельным состояниям. Это способствовало созданию качественных и экономически целесообразных конструкций. Дальнейшие исследовательские работы позволили обеспечить единый подход к обычным и предварительно напряженным конструкциям по прочности (СНиП II-В. 1-62), уточнить расчеты по второй группе предельных состояний (СНиП II-21-75), заменить расчетные характеристики, получаемые не от марок бетона, а от класса (СНиП II-21-84). В развитие СНиП 52-01-2003 в НИИЖБе был разработан свод правил СП 52-103-2007, обеспечивающий надежность зданий жилого и гражданского назначения из монолитного железобетона без предварительного напряжения арматуры.

Особенностью разрабатываемых в РФ нормативных документов является доступность изложения и возможность их использования в ручном режиме. В то же время упрощенные расчеты не всегда обеспечивают точность и экономичность конструкторских решений. Уровень технических возможностей в РФ, изменения в образовательном процессе в школах и вузах позволяют применять сложные программные комплексы (Лира, Scad и др.) и использовать для математических расчетов программные средства MathCAD, Mathematica и др. [1].

Надежность бетонных и железобетонных конструкций не вызывала сомнений вследствие того, что со временем бетон набирает прочность и после 28 суток – возраст, который во всем мире принят за отсчет расчетного сопротивления. Поэтому научные исследования и нормативные материалы были направлены, в основном, на усовершенствование проектирования и возведение новых сооружений. Вместе с тем часть конструкций при эксплуатации по тем или иным причинам теряла прочностные свойства. В настоящее время восстановление конструкций, пришедших в опасное состояние, становится исключительно актуальным. В [2] сделан прогноз о том, что строительному сообществу необходимо срочно сосредоточиться на мониторинге построенных объектов и на капитальном ремонте ослабленных сооружений, иначе в ближайшие 5-10 лет потребуется массовый снос жилых зданий.

Перенос разработанной ранее классической теории надежности сооружений, созданной в основном для металлических конструкций [3], не позволяет получить достоверный прогноз в результате особенностей железобетонных конструкций. В первую очередь это относится к бетону, который имеет собственные деформации (усадка, набухание), отличается нелинейностью деформирования под нагрузкой (ползучесть) и способен увеличивать прочность и после 28 суток нормального твердения. В лучшем случае, классическая теория могла быть применена для железобетона при проектировании [4], но не при определении остаточного ресурса конструкции. Учет многих факторов, определяющих особенности железобетона, был разработан [5, 6]. Методика учета деградации бетонных и железобетонных конструкций под действием агрессивной среды разрабатывалась в МГСУ, Мордовском ГУ, Саратовском ГТУ и др.

Однако, несмотря на значительный объем исследований по прогнозированию остаточного ресурса железобетонных и бетонных конструкций, росту прочности бетона при возведении сооружения и его эксплуатации было уделено недостаточно внимания. А это может негативно сказаться на результатах расчета.

Чаще всего в зарубежной и отечественной литературе приводится логарифмическая связь упрочнения бетона от временного фактора:

$$R_1(t) := R_{28} \cdot \frac{\log(t)}{\log(28)}, \quad (1)$$

где  $R_1(t)$ ,  $R_{28}$  – прочность бетона на сжатие в МПа в возрасте  $t$  (в сутках) и 28 суток;  $\log(t)$ ,  $\log(28)$  – десятичные логарифмы возраста бетона.

Возможность учета в проектных работах увеличения прочности бетона рассматривалась в последние годы XX века ЦНИИСК Метростроя [7].

$$R_2(t) := R_{28} \cdot \left[ 1 - \frac{(1000 - t) \cdot \log\left(\frac{28}{t}\right)}{10 \cdot (100 + R_{28})} \right]. \quad (2)$$

На раннем этапе после изготовления конструкции (от 3-х месяцев и максимум до полугода) зависимости (1) и (2) дают близкие результаты с экспериментальными данными. Но при большем возрасте бетона расхождение получается значительным (рис. 1).

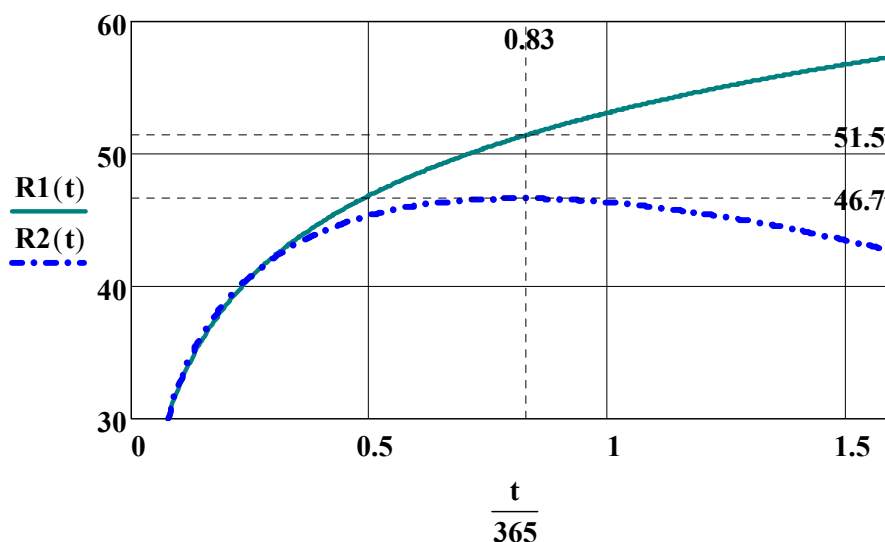


Рис.1. Сопоставление выражений (1) и (2) при R28=30 МПа

На основании исследований проф. Баженов Ю.М. предложил выражение (3), которое может корректироваться в зависимости от вида бетона и которое сближает экспериментальные и теоретические данные на большом сроке [8].

$$R3(t) := R(k) + (R28 - R(k)) \cdot \frac{\log(t) - \log(k)}{\log(28) - \log(k)} \quad (3)$$

где R(k) – прочность бетона в возрасте k (7-14 дней).

Выражение (3) предназначается для проектных разработок, учитывающих реальные сроки набора прочности бетоном в период строительства – 90–180 суток. Как видно из графика (рис. 2), выражение (3) по сравнению с выражением (2) приводит к сближению теоретических и экспериментальных данных, но и оно существенно завышает прочность бетона при большом возрасте бетона. В возрасте 10 лет по выражению (3) прочность бетона по сравнению с R28 выросла более чем в 2,3 раза.

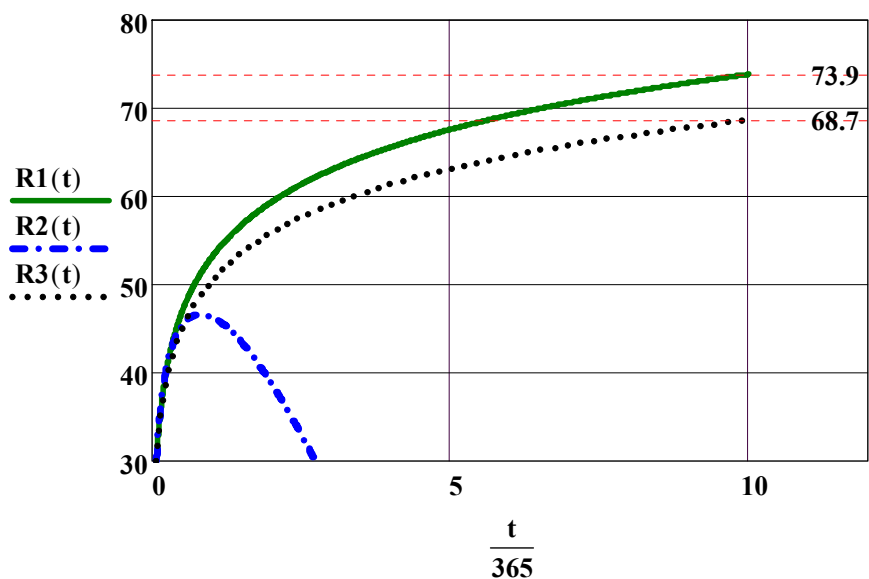


Рис. 2. Сопоставление выражений (1), (2) и (3) при k=7 суток и R(k)=19 МПа

Если на начальном этапе (до 0,5 года) логарифмическая кривая – зависимость 1 – дает удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными различных исследователей, то на более поздний период полученные значения функции  $R1(t)$  существенно выше фактических. Определенные по зависимости 3 получаемые результаты в возрасте до 1,5 лет близки экспериментальным данным как собственным, так и других исследователей. По данным, приведенным в [9], нарастание прочности происходит в бетоне ощутимо только до 1,5–2-х лет, а далее лишь на десятки или сотые доли процента. При этом максимальное упрочнение бетона за многолетнюю эксплуатацию не превышает 1,8–2,0 раза. Поэтому при отсутствии экспериментальных данных выражение (3) может быть принято за основу при вычислении остаточного ресурса, когда требуется определить прочность до 1–1,5 лет.

Когда требуется учесть этот процесс для новой конструкции, упрочнение принимают не более 1,3–1,4. Так, в EuroCode предусматривается возможность проведения прочностных расчетов железобетонных конструкций с учетом упрочнения бетона в период эксплуатации, определяемого по уравнению (4) [10]. Выражение (4) предназначено для расчета прочности конструкции и поэтому принято с запасом по сравнению с фактическими результатами, полученными на экспериментальной основе разными исследователями:

$$R4(t) := R28 \cdot \exp \left[ s \cdot \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{0.5} \right] \right], \quad (4)$$

где  $s$  определяется в зависимости от класса цемента по прочности (см. таблицу).

Класс цемента	32.5 N	42.5 N	52.5 N
$s$	0,38	0,25	0,2

При прогнозировании остаточного ресурса необходимо принимать не уменьшенную для надежности конструкции расчетную прочность бетона (нормативную с обеспеченностью 0,95, да еще деленную на коэффициент запаса по бетону), а оптимальный вариант упрочнения. При длительной эксплуатации (как минимум, среднюю прочность из результатов обследования), так как от этого зависит результат прогнозируемого срока безопасной службы сооружения, особенно когда конструкции подвергаются воздействию агрессивной среды, в [11] было предложено для определения прочности бетона, эксплуатируемого в нормальных условиях длительный период, выражение:

$$R5(t) := \left( a + b \cdot \frac{e^{\frac{t}{365}} - e^{-\frac{t}{365}}}{e^{\frac{t}{365}} + e^{-\frac{t}{365}}} \right) \cdot R28, \quad (5)$$

где коэффициенты  $a$  и  $b$  находятся по результатам обследования или принимаются с учетом зависимости (3).

Предположим, что бетон в конструкции, которая исследуется, подчиняется зависимости (3) до 1,5 лет эксплуатации. По зависимости (3) прочность бетона при нормальном твердении и отсутствии агрессивной среды через полгода окажется равной 44,85 МПа, т.е. увеличится в 1,495 раза, а через полтора года – 53,6 МПа, т.е. увеличится в 1,786 раза. Тогда, используя программный комплекс для решения уравнений, например Mathcad, получаем:

Given

$$1 = \left( a + b \cdot \frac{e^{\frac{30}{365}} - e^{-\frac{30}{365}}}{e^{\frac{30}{365}} + e^{-\frac{30}{365}}} \right) \quad 1.786 = \left( a + b \cdot \frac{e^{\frac{548}{365}} - e^{-\frac{548}{365}}}{e^{\frac{548}{365}} + e^{-\frac{548}{365}}} \right)$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} := \text{Find}(a, b) \quad a = 0.931 \quad b = 0.944$$

где Given и Find – опции MathCad для решения уравнений.

Установив в выражение (5) значения **a** и **b**, получим:

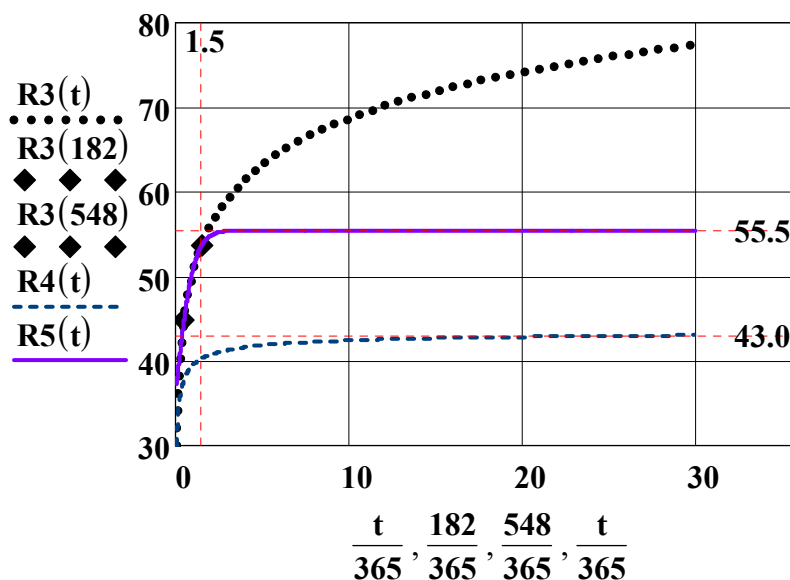


Рис. 3. Сопоставление выражений (3), (4) и (5); R3(182), R3(548) точки на кривой R3(t) для согласования с R5(t)

Из рис.3 видим, что выражения R5(t) и R4(t) практически параллельны и отличаются в пределах 10-30 лет на 25-27 %, практически на величину запаса, принимаемого для расчетных значений на сжатие.

В реальных условиях большая часть железобетонных конструкций подвергается воздействию агрессивной среды, циклической нагрузке, температурным перепадам и др., что влечет снижение не только прочностных характеристик бетона, но и изменения деформационных параметров – модуля упругости, предельных деформаций при разрушении и т.д. Поэтому при обследовании сооружения необходимо установить не только фактические параметры и состояние железобетона на данный момент, но и вернуться к истории создания конструкций [13]. Если это удастся установить, то использование исследований поведения бетона и арматуры в агрессивных средах и прочих условиях деградации бетона и арматуры позволяет оценить остаточный ресурс во временном факторе.

Допустим, что бетон с R28=30 МПа имел возраст к началу эксплуатации и воздействию агрессивной среды 1,5 года. К концу этого срока прочность бетона составила 53,5 МПа (по R3(t)). Обследование через 10 лет показало, что прочность бетона оказалась равной 41 МПа. Несмотря на агрессивное воздействие среды, прочность бетона снижалась не сразу, а некоторое время нарастание прочности бетона опережало влияние агрессии. С учетом этого фактора коэффициент деградации бетона составил  $v=4.932 \cdot 10^{-3}$  МПа/сутки. Тогда выражение для определения изменения прочности деградирующего бетона в линейной постановке будет иметь вид:

$$R6(t1) := R5(t1) - v1 \cdot (t1 - 1.5 \cdot 365), \tag{6}$$

где  $t1=1,5 \cdot 365 \dots 24 \cdot 365$ .

Такой коэффициент деградации, как следует из рис. 4, приведет по линейному прогнозу к первоначальной прочности 30 МПа через 16 лет от начала эксплуатации. Начало эксплуатации конструкции с нагрузкой агрессивной среды имеет большое значение для оценки ресурса конструкции. Допустим, для обследуемой конструкции

минимальная прочность, ниже которой конструкция не отвечает требованиям надежности, – 26.3 МПа. Тогда, используя выражение (6), получаем:

$$26.3 = R5(T1max) - v1 \cdot (T1max - 1.5 \cdot 365)$$

откуда  $T1max=18.1$  года.

Если бы начало агрессивного воздействия произошло не через 1,5 года, а через 3, то коэффициент деградации был бы равен  $v2=5.99 \cdot 10^{-3}$  и

$T2max=16.7$  года, определяемое из выражения:

$$R7(t2) := R5(t2) - v2 \cdot (t2 - 3 \cdot 365). \quad (7)$$

Экспоненциальный закон деградации дает менее жесткие сроки исчерпания ресурса [13, 14], но применить его желательно тогда, когда будут контролироваться промежуточные значения прочностных свойств.

Используя выражения (6) и (7), созданные для конкретной конструкции, можно наметить срок очередной проверки состояния конструкции и подвергнуть корректировке первоначальные выводы и прогнозируемый ресурс эксплуатируемого сооружения.

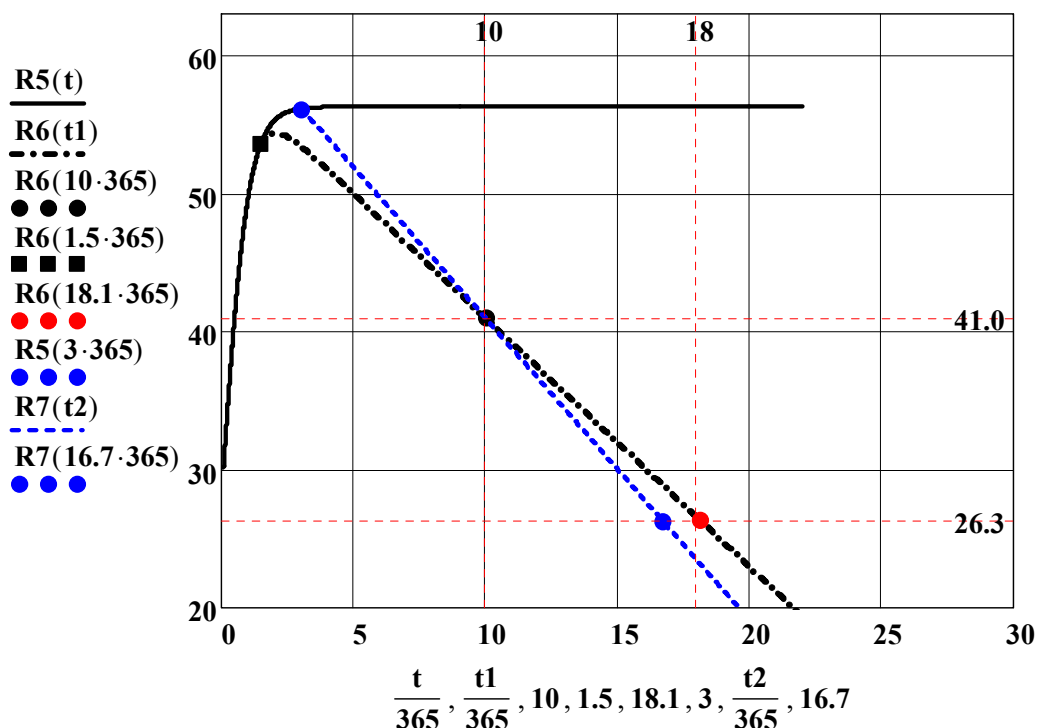


Рис. 4. Визуализация выражений  $R5(t)$ ,  $R6(t1)$  и  $R7(t2)$  с точками прогнозирования исчерпания ресурса конструкции  $R6(18.1 \cdot 365)$  и  $R7(16.7 \cdot 365)$

При наличии статистических данных возможно получение прогноза выхода конструкции из строя с заданной вероятностью и обеспеченностью.

Особенно тщательно контролировать параметры свойств бетона и железобетона и делать прогноз остаточного ресурса следует тогда, когда есть опасность прогрессирующего разрушения при агрессивном воздействии на конструкцию [15].

#### Список литературы

1. Акимов, П.А. Строительная информатика / П.А. Акимов, Т.Б. Кайтуков, М.Л. Мозгалева, В.Н. Сидоров. – М.: АСВ. – 432 с.
2. Римшин, В.И., Проблемы капитального ремонта многоквартирных домов первых массовых застроек / В.И. Римшин // Строительная газета. – 22 января 2010.

3. Болотин, В.В. Применение методов теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1971. – 255 с.
4. Чирков, В.П. Прогнозирование сроков службы железобетонных конструкций / В.П. Чирков. – М.: МГУПС (МИИТ), 1997. – 55 с.
5. Бондаренко, В.М. Концепция и направление развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // ПГС. – 2013. – №2. – С.28–32.
6. Бондаренко, В. М. Остаточный ресурс силового сопротивления поврежденного железобетона / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин // Вестник РААСН. – 2005. – № 9. – С.119–126.
7. Берг, О. Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н.Щербаков, Г.Н. Писанко. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.
8. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2002. – 500 с.
9. Невиль, А.М. Свойства бетона / А.М. Невиль. – М.: Стройиздат, 1972. – 384 с.
10. EuroCode / International Federation for Structural Concrete (fib) // CN-1015 Lausanne, Switzerland, Federal Institute of Technology Lausanne – EPFL, 2010. – P. 317.
11. Мурашкин, Г.В. Совершенствование диагностики состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций / Г.В. Мурашкин, В.Г. Мурашкин, А.И. Пятница // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2003
12. Петров, В.В. Инкрементальная модель взаимодействия нелинейно деформируемых материалов с агрессивными средами / В.В. Петров, П.В. Селяев // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: сб. – Саранск: Изд-во Саранского Государственного Университета, 2014. – С. 145-151.
13. Мурашкин, Г.В. Остаточный ресурс эксплуатируемых сооружений и конструкций из бетона и железобетона / Г.В. Мурашкин, В.Г. Мурашкин // International Journal for Computation Civil and Structural Engineering. – М.: АСВ, 2015. – №2.
14. Селяев, В.П. Оценка долговечности железобетонных конструкций с применением метода деградационных функций / В.П. Селяев, Т.А. Низина // Второй международный симпозиум. Проблемы современного бетона и железобетона. – Минск, 2009. – С. 369–385.
15. Мурашкин, В.Г. Учет особенностей железобетона при расчетах на исключение прогрессирующего разрушения / В.Г. Мурашкин, Г.В. Мурашкин, А.И. Пятница, Д.А. Панфилов // Вестник отделения строительных наук. Выпуск 15. Российская Академия архитектуры и строительных наук. – Москва-Орел-Курск, 2011. – С. 127–130.

#### References

1. Akimov, P.A. Construction Informatics / P.A. Akimov, T.B. Kaytukov, M.L. Moskaleva, V.N. Sidorov. – М.: ASV. – 432 p.
2. Rimshin, V.I. Problems of capital repair of apartment houses of the first mass buildings / V.I. Rimshin // Construction paper. – January 22, 2010.
3. Bolotin, V.V. Application of methods of probability theory and reliability theory in calculations of constructions / V.V. Bolotin. – М.: Stroyizdat, 1971. – 255 p.
4. Chirkov, V.P. Prediction of service life of reinforced concrete structures / V.P. Chirkov. – М.: Moscow state railway University (МИИТ), 1997. – 55 p.
5. Bondarenko, V.M. Concept and direction of development of the theory of constructive safety of buildings and facilities under force and environmental impacts / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // ICC. – 2013. – No. 2. – P. 28–32.
6. Bondarenko, V.M. Residual resource of power of resistance of the damaged concrete / V.M. Bondarenko, V.I. Rimshin // Bulletin of RAACS. – 2005. – No. 9. – P. 119–126.
7. Berg, O.J. High-Strength Concrete / O.J. Berg, E.N. Shcherbakov, G.N. Pisanko. – М.: Stroyizdat, 1971. – 208 p.
8. Bazhenov, Y.M. Technology of concrete / Yu. M. Bazhenov. – М.: DIA, 2002. – 500 p.



9. Neville, A.M. Properties of concrete / A.M. Neville.–M.: Stroyizdat, 1972. – 384 p.
10. EuroCode / International Federation for Structural Concrete (fib) // CH-1015 Lausanne, Switzerland, Federal Institute of Technology Lausanne. – EPFL, 2010. – 317 p.
11. Murashkin, G.V. Improvement of diagnostics of the condition of exploited reinforced concrete structures / G.V. Murashkin, V.G. Murashkin, A.I. Pyatnicha // Efficient building structures: theory and practice: Collection of articles of International scientific-technical conference. – Penza, 2003
12. Petrov, V.V. Incremental model the nonlinear interaction of deformable materials with aggressive environments /V.V. Petrov, P.V. Silyaev // Proc. Durability of building materials, components and structures. – Saransk: Saransk State University, 2014. – P. 145–151.
13. Murashkin, G.V. Residual resource of the exploited buildings and structures from concrete and reinforced concrete / G.V. Murashkin, V.G. Murashkin // International Journal for Computation Civil and Structural Engineering. DIA. – M., 2015. – No. 2.
14. Silyaev, V.P. Durability assessment of concrete structures using the method of degradation functions / V.P. Silyaev, T.A. Nizina // The Second international Symposium. Problems of modern concrete and reinforced concrete. – Minsk, 2009. – P. 369–385.
15. Murashkin, V.G. Peculiarities of concrete in calculations to exclude progressive damage / G.V. Murashkin, V.G. Murashkin, A.I. Pyatnicha, D.A. Panfilov // Bulletin of the Department of construction science. Issue 15. Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. – M.-Orel-Kursk, 2011. – P. 127–130.

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

**Гучкин Игорь Сергеевич**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Багдоев Сергей Георгиевич**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»

**Шишкин Сергей Олегович**,  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: hehaio@mail.ru

**Ласьков Николай Николаевич**,  
доктор технических наук, зав. кафедрой  
«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

**Guchkin Igor Sergeevich**,  
Candidate of Sciences, Professor of the  
department «Building constructions»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Bagdоеv Sergey Georgievich**,  
Candidate of Sciences, Professor of the  
department «Building constructions»

**Shishkin Sergey Olegovich**,  
Postgraduate of the department «Building  
constructions»  
E-mail: hehaio@mail.ru

**Laskov Nikolay Nikolaevich**,  
Doctor of Sciences, Head of the department  
«Building constructions»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

## СПОСОБ НАПРАВЛЕННОГО ДЕМОНТАЖА КИРПИЧНОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ

И.С. Гучкин, С.Г. Багдоев, С.О. Шишкин, Н.Н. Ласьков

Приводятся обоснование и результаты эффективного технического решения направленного демонтажа кирпичной дымовой трубы с помощью силовых устройств (тягача и домкрата). Сообщаются результаты исследования прочности кирпича и раствора в цоколе. Рассматриваются геометрические параметры ствола трубы, величина отклонения оголовка от вертикали. Теоретически оцениваются напряжения в кирпичной кладке трубы при направленном демонтаже, а также величины тягового опрокидывающего усилия в тросе тягача и в домкрате. Обосновываются технология безопасного демонтажа, комплекс подготовительных работ, их последовательность и реализация.

*Ключевые слова: дымовая труба, кирпичная кладка, аварийное состояние, ветровой напор, напряжения в кирпичной кладке, направленный демонтаж, тягач, домкрат, усилие опрокидывания*

## WAY OF DIRECTIONAL BRICK CHIMNEY DISMANTLING

I.S. Guchkin, S.G. Bagdоеv, S.O. Shishkin, N.N. Laskov

The grounds and the results of effective technical solutions of brick chimney dismantling using a tractor and a jack are cited. The results of researching the strength of brick and mortar in the basement are announced. Geometric parameters of the tube barrel, tip deviation from the vertical are discussed. The authors theoretically estimate voltage in pipe masonry at directed dismantling, as well as the magnitude of the traction force in the wire rope tipping tractor-tipping in jack safe dismantling technology, a set of preparatory work, their sequence and implementation are studied.

*Keywords: chimney, bricklaying, alarm condition, wind pressure, stress in masonry, directed dismantling, truck, jack, tipping force*

Демонтаж трубы вызван ветхим состоянием кирпичной кладки и серьезной опасностью внезапного обрушения.

Дымовая труба высотой 50 м выполнена из обыкновенного красного кирпича на цементно-песчаном растворе. Нижняя часть трубы ( $H=30$  м) возводилась в двадцатых годах прошлого столетия и находится в удовлетворительном состоянии. Верхняя часть трубы ( $H=20$  м) возводилась в 60-х годах и имеет существенные повреждения в виде

продольных и поперечных сквозных трещин. Наличие трещин, а также неравномерная деформация кладки вызвали наклон этой части трубы в сторону производственного здания. Угол наклона составляет  $1^{\circ}45'$ .

При детальном обследовании трубы установлено: цоколь выполнен из кирпича марки М-75 на растворе М-50 ( $R=1,3$  МПа). Наружный диаметр трубы в цоколе 3,48 м, внутренний диаметр 1,94 м. Наружный диаметр в оголовке 1,5 м, внутренний – 0,48 м. Плотность кирпичной кладки  $1800 \text{ кг/м}^3$ . Величины горизонтального смещения  $\delta$  на разной высоте трубы, полученные с помощью геодезической съемки, показаны на рис. 1,а, эпюра ветрового давления – на рис. 1,б.

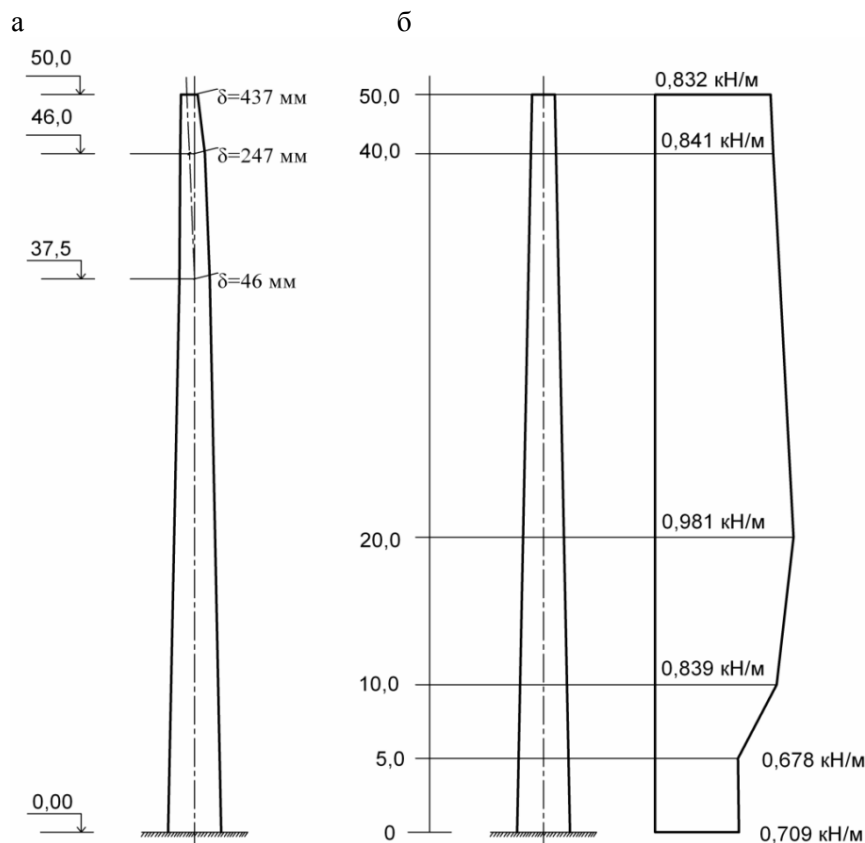


Рис. 1. Расчетные параметры трубы:  
а – схема деформирования; б – эпюра ветрового давления

Для определения массы трубы и эксцентриситета ее силы тяжести относительно центра нижнего сечения условно принималось, что толщина трубы изменяется плавно.

Расчетное усилие от веса трубы составило:  $N = G = 3840 \text{ кН}$ .

Эксцентриситет силы тяжести с учетом отклонения от вертикали:  $e = 0,047 \text{ м}$ .

Расчетный момент:  $M = N \cdot e = 3840 \cdot 0,047 = 181 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Определение ветровой нагрузки производилось по СНиП 2.01.07-85.

Изгибающий момент в основании трубы от ветровой нагрузки:  $M_{\omega} = 1079 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Эксцентриситет  $e_{\omega} = M_{\omega} / G = 1079 / 3840 = 0,281 \text{ м}$ .

Таким образом, полный эксцентриситет:  $e = 0,047 + 0,281 = 0,328 \text{ м}$ .

Проверка прочности опорного сечения трубы производилась по формулам СНиП 11-22-81.

Предварительно определялись параметры:

$$\omega = 1 + e / 2y = 1 + 0,328 / 2 \cdot 1,412 = 1,116; m_g = 1$$

при  $e = 0,328 \text{ м}$ , площади сечения сжатой зоны  $A_c = 5,2 \text{ м}^2$  и расстоянии от центра тяжести сечения трубы до его края в сторону эксцентриситета  $y = 1,412 \text{ м}$ .

Для вычисления коэффициента продольного изгиба, учитывая, что сечение трубы переменное по высоте, гибкость трубы находили по сечению, расположенному на расстоянии 1/3 высоты от уровня земли.

Площадь сечения  $A = 4,585 \text{ м}^2$ , момент инерции сечения  $J = 2,884 \text{ м}^4$ , радиус инерции  $i = 0,793 \text{ м}$ , гибкость  $\lambda = \frac{2H}{i} = \frac{2 \cdot 50}{0,793} = 126$ . Это соответствует  $\varphi = 0,34$

(табл. 18 СНиП 11-22-81). Учитывая, что труба кольцевого сечения и величина эксцентриситета незначительна, принимаем  $\varphi_1 = \varphi = 0,34$ .

Прочность сечения проверялась по условию (13) СНиП 11-22-81:

$$N = 3840 \text{ кН} \leq m_g \varphi_1 R A_c \omega = 1 \cdot 0,34 \cdot 13 \cdot 10^3 \cdot 5,2 \cdot 1,116 = 25560 \text{ кН}.$$

Условие не выполняется, и прочность сечения трубы в цоколе не обеспечена, поэтому **требуется предшествующее демонтажу трубы усиление цоколя стальными поясами.**

В отличие от существующих способов [1, 2] демонтаж трубы производился путем подрезки (удаления) участка кладки в опорном сечении с последующим направленным опрокидыванием трубы тягачом и домкратом.

При удалении части сечения трубы параметры ослабленного сечения изменяются. Для анализа напряженного состояния сечения трубы получены следующие формулы, позволяющие установить геометрические параметры ослабленного сечения.

Площадь сечения:

$$A_c = \frac{\pi R^2}{2} - (R - a) \sqrt{a(2R - a)} - R^2 \arcsin \frac{R - a}{R},$$

где  $a$  – глубина ослабления;  $R$  – радиус сечения в цоколе.

Статический момент сегмента относительно оси, проходящей через центр круга:

$$S_c = \frac{2}{3} (2Ra - a^2)^{\frac{3}{2}}.$$

Момент инерции сечения сегмента относительно оси, проходящей через точку, расположенную на расстоянии  $b$  от центра круга и наиболее удаленную от сегмента:

$$I_c = A_c (b^2 + 0,25R^2) + S_c [2b + 0,75(R - a)].$$

Геометрические параметры сечений при различной величине их ослабления приведены в таблице.

Геометрические параметры ослабленных сечений

Глубина ослабления $a$ , мм	Площадь сечения, $\text{м}^2$	Параметр ослабления $b$ , мм	Момент сопротивления, $W = \frac{J_c}{y}$ , $\text{м}^3$	
			неослабленной грани	ослабленной грани
0	6,55	0	3,738	3,738
250	6,25	77	3,702	3,929
510	5,69	218	2,501	2,628
770	4,99	403	2,280	2,220
900	4,69	487	1,955	1,847
1340	3,904	711	1,273	1,179

На рис.2 приведены эпюры нормальных напряжений в ослабленных сечениях от постоянной нагрузки.

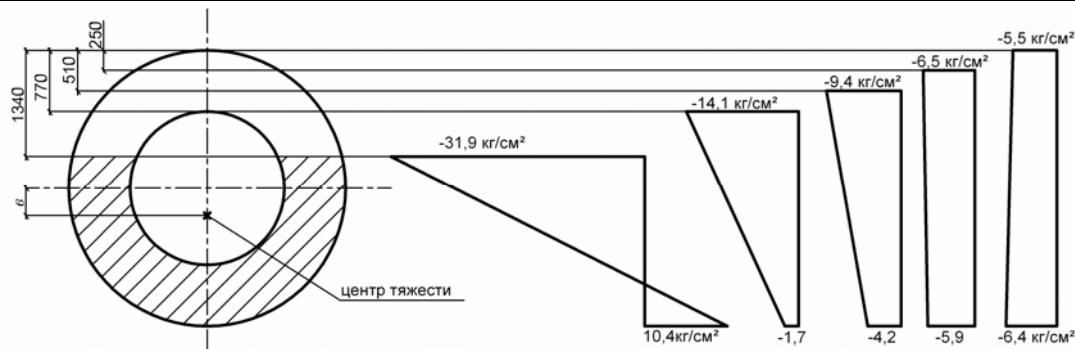


Рис.2. Схемы ослабления сечения при подрезке и соответствующие эпюры условных нормальных напряжений при упругой работе материала

В основе способа безопасного направленного демонтажа ствола трубы лежат следующие предпосылки:

- опрокидывание трубы производится с помощью тягачей, расположенных на расстоянии 80 м (по горизонтали) от трубы, и троса, закрепленного на трубе на высоте 25-30 м.;
- эпюра растягивающих напряжений в кладке прямоугольная, и величина растягивающих напряжений при разрыве составляет 0,1 МПа;
- величина необходимого тягового усилия в тросе при различной глубине ослабления сечения соответствует математически обоснованным зависимостям, представленным на рис.3.

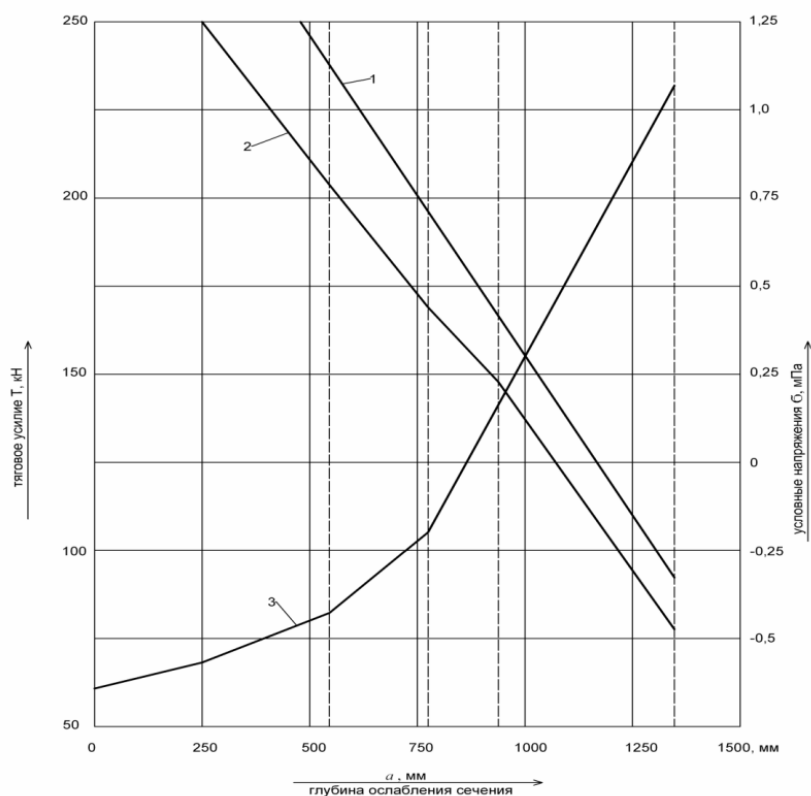


Рис.3. Графики изменения тягового усилия  $T$  при закреплении троса на высоте 25 м (1) и 30 м (2) и условных напряжений  $\sigma$  на неослабленной грани сечения (3) в зависимости от величины ослабления  $a$

Анализируя полученные данные, представленные на рис.2 и 3, несложно заметить, что при относительно небольшой величине ослабления ( $a=510$  мм) напряженное состояние опорного сечения трубы качественно изменяется незначительно: все

сечение остается сжатым; максимальное значение напряжений возрастает менее чем в 1,5 раза, при этом минимальное значение напряжений составляет 45 % максимального, т.е. неравномерность напряжений незначительна. Таким образом, с точки зрения безопасности проведения работ желательно ограничиться именно такой величиной ослабления. Однако в этом случае необходимое гарантированное усилие натяжения тросов составляет 250-300 кН, что трудно осуществить имеющимися механизмами. Даже при величине ослабления  $a = 770$  мм (сила тяжести трубы остается в пределах ядра сечения, все сечение сжато, хотя неравномерность напряжений по высоте сечения значительная) усилие натяжения троса составляет 160-200 кН, что также трудно осуществимо.

При величине ослабления  $a = 1340$  мм необходимое усилие натяжения троса не превышает 100 кН, но при этом сила тяжести трубы выходит за пределы ядра сечения, появляется растянутая зона на неослабленной грани сечения, сжатая зона резко сокращается. Все это приводит к повышению опасности внезапного обрушения трубы и требует увеличения мер предосторожности при производстве работ. На рис.3 приведены графики изменения тягового усилия в тросе и условных напряжений на неослабленной грани трубы, из которых видно, что при величине ослабления  $a = 880$  мм напряжения равны нулю, т.е. сила тяжести не выходит за пределы ядра сечения (все сечение сжато). При этом необходимое усилие натяжения троса составляет 150-180 кН.

**Результаты выполненных исследований реализованы при разработке схемы и последовательности демонтажных работ.**

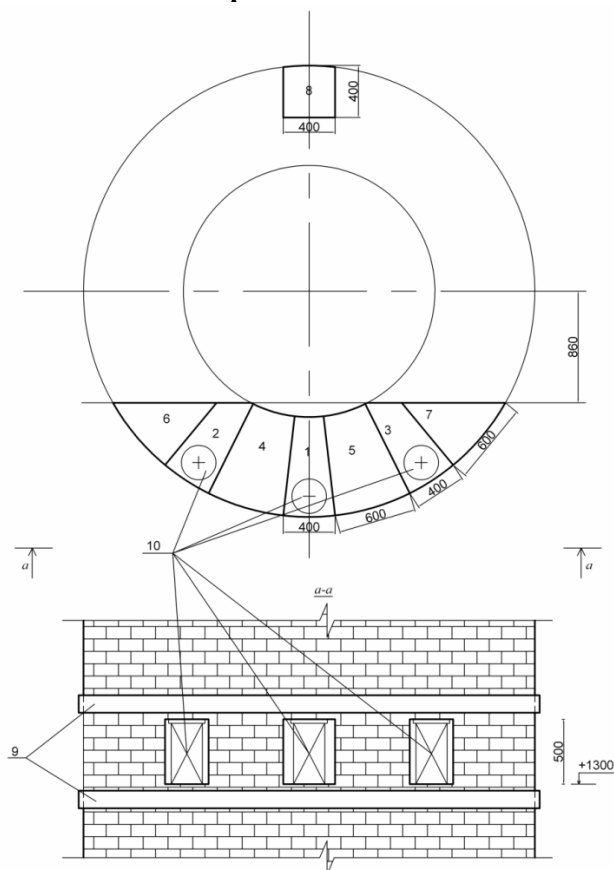


Рис.4. Разметка цоколя трубы:

1, 2, 3 – ниши страховочных стоек; 4, 5, 6, 7 – простенки;

8 – ниша домкрата ( $H=500$ ); 9 – стальные пояса; 10 – стойки.

П р и м е ч а н и е . Отметки низа и верха гнезд совпадают с отметками горизонтальных швов кладки

Демонтаж трубы выполнялся в следующем порядке:

1. Крепился трос на трубе на отм. 25-30 м.
  2. Размечалось расположение гнезд в цоколе в соответствии с рис.4.
  3. В цоколе устанавливались стальные кольца 9 (см. рис.4).
  4. В заданной последовательности в зонах 1→2→3 (см. рис.4) разбиралась кладка на толщину стенки трубы. В образованные гнезда устанавливались страховочные стойки 10 и деревянные (дубовые) прокладки («стулья»). Враспор с кладкой забивались стальные клинья (пластины).
  5. В заданной последовательности в зонах 4→5→6→7 (см. рис.4) разбиралась кладка на толщину стенки трубы.
  6. Разбиралась кладка в зоне 8 на глубину 400 мм высотой 500 мм. В образованное гнездо устанавливался домкрат  $Q = 200$  тс. С помощью стальных прокладок (клиньев) обеспечивался распор по вертикали домкрата с кладкой.
  7. К домкрату подключалась насосная станция с электроприводом. Пусковая кнопка насосной станции выносилась на пункт управления, расположенный на безопасном расстоянии.
  8. С помощью стропов трос подсоединялся к страховочным стойкам 10 и тягачу.
  9. С помощью лебедки из гнезд выдергивались страховочные стойки, затем по сигналу сцепкой из двух тягачей производилось натяжение троса 4 усилием, при котором устранялось его провисание ( $2\div 3$  тс).
  10. Включались насосная станция и домкрат. Биноклем контролировалось перемещение поршня домкрата (предельное перемещение 100 мм), а теодолитом – изменение угла наклона трубы. Когда поршень достигал контрольной отметки (100 мм), домкрат выключался.
  11. Сцепкой из двух тягачей и плавным натяжением троса производился завал (демонтаж) трубы.
- Для ослабления силы удара от падающей трубы и вибрационных воздействий на близлежащие здания на земле устраивалась амортизирующая подушка из глины толщиной 0,5 – 0,8 м.
- Опыт направленного демонтажа трубы полностью подтвердил теоретические расчеты. Демонтаж трубы, включая подготовительные работы, выполнялся в заданном режиме, с соблюдением требований техники безопасности, в течение трех дней. При глубине подрезки сечения в цоколе 880 мм труба опрокинулась в заданный сектор с отклонением биссектрисы угла падения  $\approx 1,6\%$ , что соответствовало техническому заданию.

#### Список литературы

1. Патент РФ № 2308675, Е 04 G 23/08.
2. Патент РФ № 2477777, Е 04 Н 12/28.

#### References

1. Patent RU № 2308675, E 04 G 23/08.
2. Patent RU № 2477777, E 04 H 12/28.

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

**Зернов Владимир Викторович,**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Механика»

**Зайцев Михаил Борисович,**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Механика»

**Валякин Владимир Анатольевич,**

студент  
E-mail: sitm@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

**Zernov Vladimir Victorovich,**

Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Mechanics»

**Zaytsev Mihail Borisovich,**

Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Mechanics»

**Walakin Vladimir Anatolyevich,**

student  
E-mail: sitm@pguas.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕКТОРА ГРАДИЕНТА ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, В.А. Валякин

Представлена методика определения компонент вектора градиента частот собственных колебаний по изгибным жесткостям элементов плоских стержневых систем. Компоненты вектора позволяют выявлять те элементы, жесткости которых в наибольшей степени влияют на величину частот собственных колебаний данной системы.

*Ключевые слова: плоская стержневая система, динамические воздействия, изгибная жесткость, собственная частота колебаний, вектор градиента*

## DEFINITION OF GRADIENT VECTOR OF NATURAL FREQUENCIES OF A FLAT ROD SYSTEMS

V.V. Zernov, M.B. Zaytsev, V.A. Walakin

The authors present technique of determining the components of gradient vector of natural frequencies according to flexural stiffness of flat rod systems elements. Vector components allow to identify the elements, the rigidity of which has the greatest influence on the magnitude of natural frequencies of the system.

*Keywords: flat bar system, dynamic impact, flexural rigidity, natural frequencies, gradient vector*

Частоты и формы собственных колебаний сооружения, определяющие его отклик на внешние динамические воздействия, являются важнейшими характеристиками сооружения.

Поставим задачу определения влияния изгибной жесткости отдельного элемента плоской стержневой системы на величину частоты основного тона собственных колебаний. Для этого введем понятие вектора градиента частоты собственных колебаний по жесткостям элементов

$$\nabla\Omega = \left[ \frac{\partial\Omega}{\partial i_k} = f_k \right]^T \quad (k = 1, 2, 3 \dots n),$$

где  $i_k = EI_k$  – изгибная жесткость  $k$ -го элемента;  $f_k$  – коэффициенты влияния (компоненты вектора градиента).



Известно [1, 2], что уравнение для определения спектра частот собственных колебаний имеют вид:

$\text{Det}(AM - \lambda E) = 0$  или

$$\begin{vmatrix} \delta_{11}m_1 - \lambda_k & \delta_{12}m_2 & \dots & \delta_{1n}m_n \\ \delta_{21}m_1 & \delta_{22}m_2 - \lambda_k & \dots & \delta_{2n}m_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1}m_1 & \delta_{n2}m_2 & \dots & \delta_{nn}m_n - \lambda_k \end{vmatrix} = 0, \quad (1)$$

где  $A$  – матрица податливости стержневой системы;  $M$  – диагональная матрица масс;  $\lambda_k = \frac{1}{\omega_k^2}$  – собственные значения матрицы  $C = AM$ .

Развернув определитель (1), получим алгебраическое уравнение  $n$ -й степени относительно  $\lambda$ :

$$\lambda^n + B_1\lambda^{n-1} + B_2\lambda^{n-2} + \dots + B_{n-1}\lambda + B_n = 0. \quad (2)$$

Для упругой системы уравнение (2) имеет в общем случае  $n$  вещественных положительных корней  $\lambda_k$  ( $k = 1, 2, 3 \dots n$ ), и этому ряду чисел  $\lambda_k$ , соответствует ряд частот  $\omega_k$ .

Представим выражение (2) неявной функцией вида

$$\begin{aligned} F(\omega, i_k) = & \left(\frac{1}{\omega^2}\right)^n + B_1(i_k)\left(\frac{1}{\omega^2}\right)^{n-1} + B_2(i_k)\left(\frac{1}{\omega^2}\right)^{n-2} + \dots \\ & + B_{n-1}(i_k)\left(\frac{1}{\omega^2}\right) + B_n(i_k) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда компоненты вектора градиента имеют вид

$$f_k = \frac{\partial \omega}{\partial i_k} = - \frac{\frac{\partial F(\omega, i_k)}{\partial i_k}}{\frac{\partial F(\omega, i_k)}{\partial \omega}}. \quad (4)$$

Сравнивая значения  $f_k$ , полученные по (4) при заданном соотношении жесткостей и найденных по (2) частотах, можно судить о том, жесткости каких элементов в большей степени влияют на величину частот собственных колебаний. Варьирование жесткостью элементов с малыми величинами  $f_k$ , будет мало влиять на изменение значений частот и, соответственно, наоборот.

В качестве примера рассмотрим нахождение коэффициентов влияния  $f_k$  для стержневой системы, геометрические размеры и жесткостные характеристики которой представлены на рис. 1.

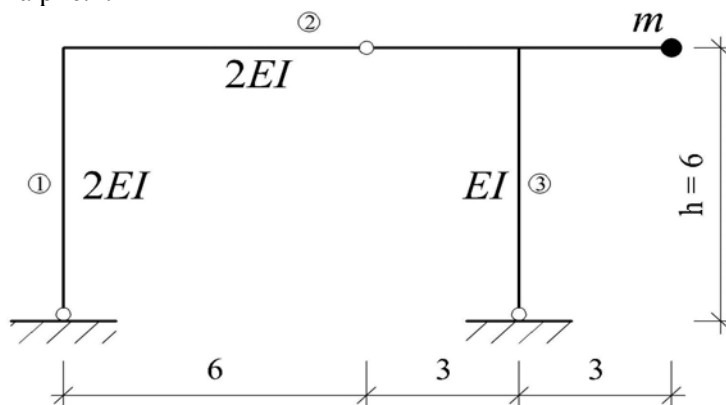


Рис.1. Расчетная схема рамы

Частоты свободных колебаний для системы с двумя динамическими степенями свободы определим по (1):

$$\begin{vmatrix} \delta_{11}m - \lambda & \delta_{12}m \\ \delta_{21}m & \delta_{22}m - \lambda \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

где  $m$  – масса;  $\delta_{ik}$  – единичное перемещение по направлению  $i$ -го колебания от действия инерционной силы  $S_{ik} = 1$ .

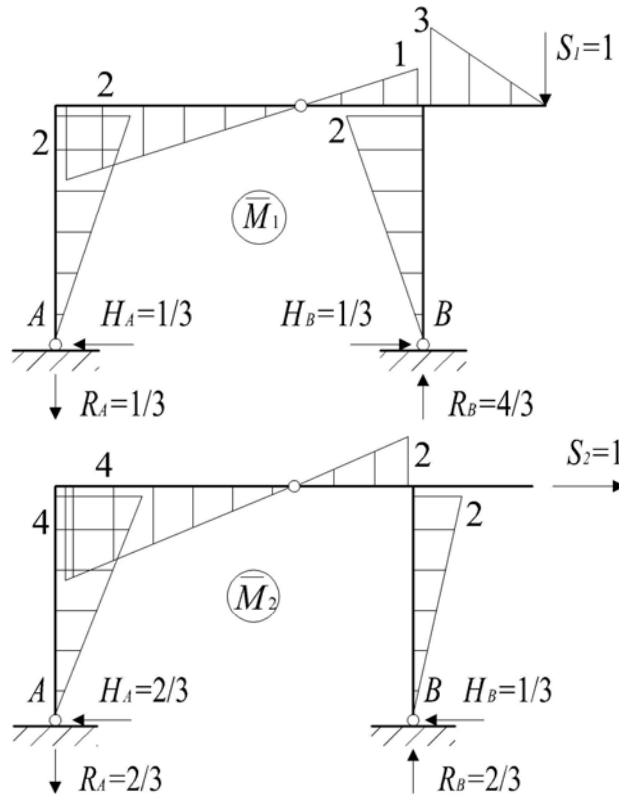


Рис. 2. Единичные эпюры моментов

Перемножая единичные эпюры (рис. 2), получим:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \sum_1^n \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_1}{EI} dx = \frac{8}{EI_1} + \frac{18}{EI_2} + \frac{8}{EI_3}, \\ \delta_{22} &= \sum_1^n \int_0^l \frac{\bar{M}_2 \bar{M}_2}{EI} dx = \frac{32}{EI_1} + \frac{36}{EI_2} + \frac{8}{EI_3}, \\ \delta_{21} &= \delta_{12} = \sum_1^n \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2}{EI} dx = \frac{16}{EI_1} + \frac{18}{EI_2} - \frac{8}{EI_3}. \end{aligned}$$

С учетом  $\lambda = \frac{1}{\omega^2}$  определитель (5) имеет вид:

$$F(\omega, i_k) = \left( \frac{1}{\omega^2} \right)^2 - \alpha m \frac{1}{\omega^2} + \beta m^2 = 0,$$

где  $\alpha = \delta_{11} + \delta_{22}$ ,  $\beta = \delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2$ .

Определим компоненты вектора градиента по (4):

$$f_1 = \frac{\partial \omega}{\partial i_1} = - \frac{\frac{\partial F(\omega, i_k)}{\partial i_1}}{\frac{\partial F(\omega, i_k)}{\partial \omega}} = \frac{m\omega \left( 40 - m\omega^2 \left( \frac{288}{EI_2} + \frac{576}{EI_3} \right) \right)}{2 \left( -\frac{2}{\omega^2} + \left( \frac{40}{EI_1} + \frac{54}{EI_2} + \frac{16}{EI_3} \right) m \right) EI_1^2},$$

$$f_2 = \frac{\partial \omega}{\partial i_2} = - \frac{\frac{\partial F(\omega, i_k)}{\partial i_2}}{\frac{\partial F(\omega, i_k)}{\partial \omega}} = \frac{m\omega \left( 54 - m\omega^2 \left( \frac{288}{EI_1} + \frac{648}{EI_2} + \frac{720}{EI_3} \right) \right)}{2 \left( -\frac{2}{\omega^2} + \left( \frac{40}{EI_1} + \frac{54}{EI_2} + \frac{16}{EI_3} \right) m \right) EI_2^2},$$

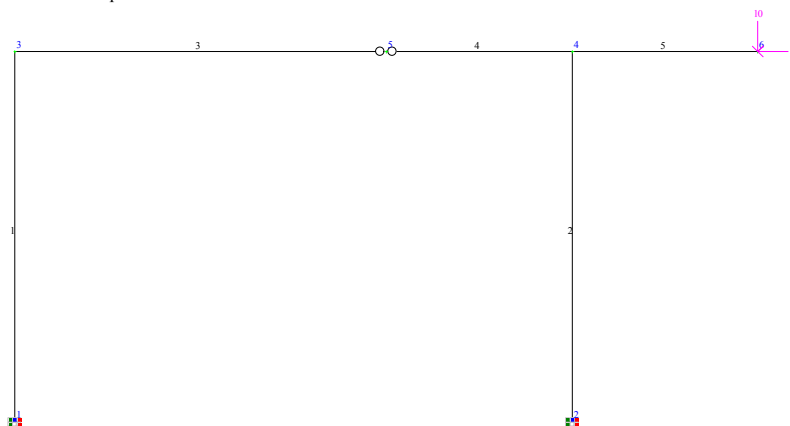
$$f_3 = \frac{\partial \omega}{\partial i_3} = - \frac{\frac{\partial F(\omega, i_k)}{\partial i_3}}{\frac{\partial F(\omega, i_k)}{\partial \omega}} = \frac{m\omega \left( 16 - m\omega^2 \left( \frac{576}{EI_1} + \frac{720}{EI_2} \right) \right)}{2 \left( -\frac{2}{\omega^2} + \left( \frac{40}{EI_1} + \frac{54}{EI_2} + \frac{16}{EI_3} \right) m \right) EI_3^2}.$$

При заданном соотношении жесткостей  $EI_1 = 2EI$ ,  $EI_2 = 2EI$ ,  $EI_3 = EI$  и найденном из (5) значении первой частоты  $\omega = 0.148 \sqrt{\frac{EI}{m}}$ :

$$f_1 = \frac{0.01583 \sqrt{\frac{EI}{m}}}{EI}, \quad f_2 = \frac{0.01766 \sqrt{\frac{EI}{m}}}{EI}, \quad f_3 = \frac{0.00459 \sqrt{\frac{EI}{m}}}{EI}.$$

Сравнивая значения коэффициентов влияния  $f_k$ , можно сделать вывод, что изменение жесткости сечения 3-го стержня будет мало влиять на величину собственной частоты колебаний стержневой системы.

Результаты численных экспериментов с использованием ПК «Ли́ра» [3] представлены на рис.3; 4. При этом принято  $m$  – вес динамической массы, равный 10 кН.  $EI_1 = 40000 \text{ кНм}^2$ ,  $EI_{\text{ригеля}} = 40000 \text{ кНм}^2$ ,  $EI_3 = 20000 \text{ кНм}^2$ .



№ загруз	№ формы	Собст. значения	Частоты		Период	Кэф. распред.	Мод. масса	Сумма мод. масс
			Круг. частота	Частота				
1	1	0.048	20.805	3.311	0.302	0.000	0.000	0.000
1	2	0.030	33.319	5.303	0.189	0.000	0.000	0.000

Рис. 3. Частоты колебаний для заданной схемы в ПК «Ли́ра»

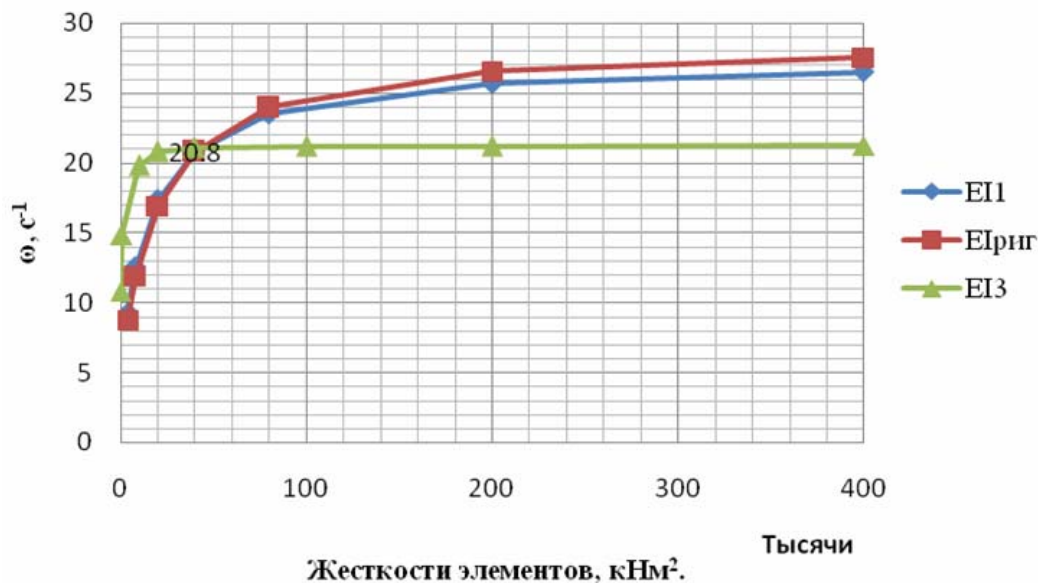


Рис. 4. Графики зависимости первой частоты собственных колебаний от жесткостей элементов системы

**Вывод.** Получены зависимости для определения компонент вектора градиента частот собственных колебаний (коэффициентов влияния) по изгибным жесткостям элементов плоских стержневых систем. Они позволяют судить о том, жесткости каких стержней системы в наибольшей степени влияют на величину частот собственных колебаний данной системы.

#### Список литературы

1. Смирнов, А.Ф. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений / А.Ф. Смирнов, Б.Я. Лашеников, Н.Н. Шапошников; под ред. А.Ф. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1984. – 416 с.
2. Шеин, А.И. Схемы и теория гасителей пространственных колебаний сооружений / А.И. Шеин, О.Г. Земцова // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – №1. – С. 45–52.
3. Земцова, О.Г. Комплексы программ, применяемые для моделирования и расчета конструкций зданий и сооружений / О.Г. Земцова // Моделирование и механика конструкций: электронный научный журнал. – 2015. – №1. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/kompleksy-programm-primenyaemye-dlya-modelirovaniya-i-rascheta-konstrukcii-zdani-i-sooruzhenii/view>

#### References

1. Smirnov, A.F. Structural mechanics. Dynamics and stability of structures / A.F. Smirnov, B.Y. Lisenkov, N.N. Shaposhnikov; ed. by A. F. Smirnov. – M.: Stroiizdat, 1984. – 416 p.
2. Shein, A. I. Schema theory and spatial damper of vibrations of structures / A.I. Shein, O.G. Zemtsova // Regional architecture and construction. – 2010. – No. 1. – P. 45–52.
3. Zemtsova, O.G. Complexes of programs used for simulation and calculation of designs of buildings and structures / O.G. Zemtsova // Modeling and mechanics of structures: electronic scientific journal. – 2015. – №1. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/matematiceskoe-modelirovanie-chislennye-metody-i-kompleksy-programm/kompleksy-programm-primenyaemye-dlya-modelirovaniya-i-rascheta-konstrukcii-zdani-i-sooruzhenii/view>

*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

**Гучкин Игорь Сергеевич**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Артюшин Дмитрий Викторович**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Ласьков Николай Николаевич**,  
доктор технических наук, зав. кафедрой  
«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

**Guchkin Igor Sergeevich**,  
Candidate of Sciences, Professor  
of the department «Building structures»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Artyushin Dmitriy Viktorovich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Building structures»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Laskov Nikolay Nikolaevich**,  
Doctor of Sciences, Head of the department  
«Building constructions»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

## УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РЕБРИСТЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОРПУСА

И.С. Гучкин, Д.В. Артюшин, Н.Н. Ласьков

Рассматриваются результаты внедрения эффективной конструкции усиления поврежденных коррозией ребристых железобетонных плит покрытия производственного корпуса. Приводятся данные обследования плит, расчеты их несущей способности до и после усиления. Предлагается конструкция усиления плит в двух вариантах: простое – с помощью шпренгеля и комплексное – шпренгелем и стальной пластиной. Оценивается достигнутый эффект от усиления плит.

*Ключевые слова: железобетонные ребристые плиты, коррозия арматуры, методы усиления, усиление шпренгелем, усиление стальной пластиной, комплексное усиление*

## STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE RIDGE SLABS OF ENGINEERING BUILDING COVERING

I.S. Guchkin, D.V. Artyushin, N.N. Laskov

The results of introduction an efficient design of strengthening ridge reinforced concrete slabs of engineering building covering damaged by corrosion are considered. Inspections of slabs, calculations of their bearing ability before and after strengthening are given. The structure of slabs strengthening in two options is offered: a simple one – with the help subdiagonal and complex – subdiagonal and a steel plate. The reached effect of slabs strengthening is estimated.

*Keywords: reinforced concrete slabs, corrosion of armature, strengthening methods, strengthening by a subdiagonal, strengthening by a steel plate, complex strengthening*

Железобетонные плиты покрытия (перекрытия) являются наиболее ответственными несущими конструкциями здания, однако, работая в сложных условиях, они могут получить различные повреждения (такие, как опасные нормальные или наклонные трещины, коррозия рабочей арматуры, чрезмерный прогиб), грозящие их внезапным обрушением. Существующие традиционные способы усиления предварительно напряженных плит, как правило, весьма трудо- и материалозатратны и сопряжены с остановкой производства. С целью решения актуальной проблемы дальнейшей безопасной эксплуатации поврежденных плит была разработана на методологических основах анализа и синтеза сложных многокритериальных систем [1–3] и в дальнейшем реализована на практике эффективная конструкция усиления ребристых железобе-

тонных плит покрытия производственного корпуса ООО АК «Домостроитель» в г. Пензе.

Производственный корпус эксплуатируется с 1984 года. Покрытие здания выполнено из ребристых комплексных железобетонных предварительно напряженных плит марки  $\frac{\text{ПА-V}}{3 \times 6} - 3\Gamma$  (серия 1.465-7, вып. 1). Предварительно напряженная арматура плит класса Ат-V ( $R_{sn}=785$  МПа,  $R_s=680$  МПа). Проектная прочность бетона соответствует марке М300 ( $R_b=14,5$  МПа,  $R_{bt}=1,05$  МПа).

Обследование показало, что за время длительной эксплуатации в неблагоприятных условиях (образование конденсата, протечки кровли, перегрузка снегом) при малой толщине защитного слоя арматуры отдельные элементы железобетонных плит покрытия, включая полку, поперечные и продольные ребра, получили существенные повреждения. Инструментальным обследованием установлено, что прочность бетона плит примерно соответствует проектной, однако во многих элементах плит присутствуют дефекты и повреждения, снижающие их несущую способность. Наиболее опасными повреждениями плит являются отслоение защитного слоя и коррозия рабочей арматуры продольных ребер. Ослабление сечения арматуры коррозией составляет 15-20 %.

Оценка прочности продольных ребер с учетом имеющихся повреждений производилась в соответствии со СНиП 2.03.01-84\* и СНиП 52-01-2003 [4, 5].

Расчетная схема плиты покрытия представлена на рис. 1. Расчетная погонная нагрузка на плиту  $q = 4,85 \times 3 = 14,55$  кН/м. Расчетный изгибающий момент  $M = \frac{14,55 \times 6^2}{8} = 65,5$  кН·м.

Бетон класса В25 (марки М300) –  $R_b \gamma_{b1} = 14,5 \times 0,9 = 13,05$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\epsilon_{b2} = 4,8 \times 10^{-3}$ . Продольная напрягаемая арматура класса Ат-V –  $R_s = 680$  Н/мм<sup>2</sup>;  $E_s = 19 \times 10^5$  Н/мм<sup>2</sup> [4, табл. 22\*, 29\*].

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{R_s}{E_s \epsilon_{b2}}} = \frac{0,8}{1 + \frac{680}{1,9 \times 10^5 \times 4,8 \times 10^{-3}}} = 0,457; \alpha_R = 0,353.$$

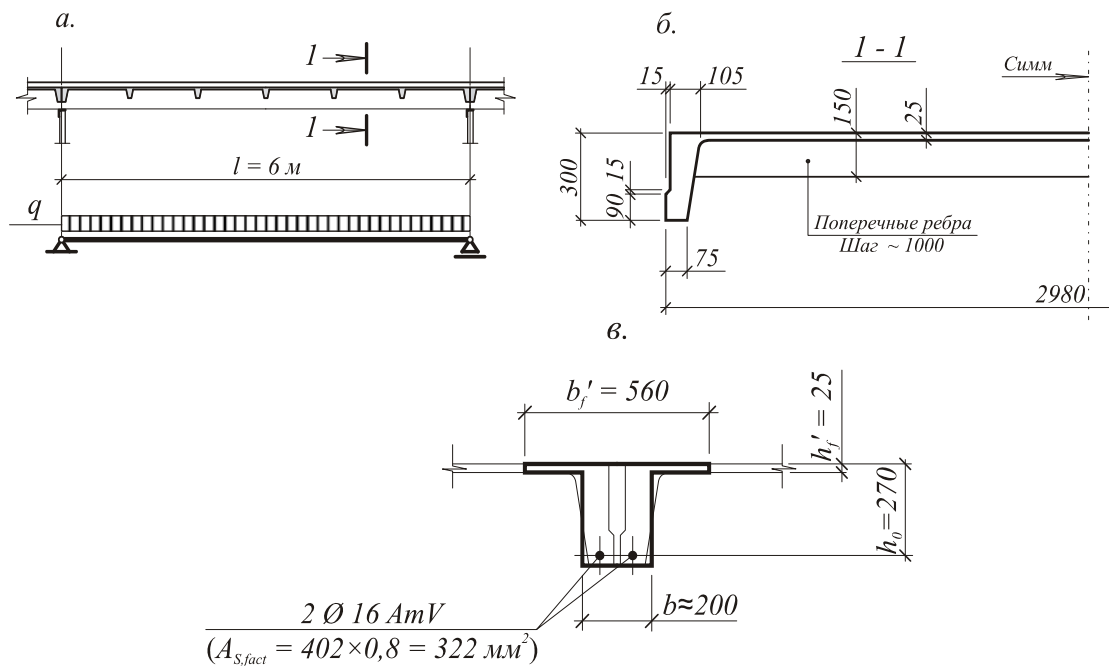


Рис. 1. Расчетная схема (а), поперечное (б) и расчетное (в) сечения плиты

Ширина полки  $b'_f = 560$  мм расчетного сечения плиты принята с учетом указаний [6, п. 8.1.11], согласно которым суммарная ширина примыкающих к продольным

ребрам участков полки, учитываемая в расчете, составляет  $6h'_f \times 2 = 6 \times 25 \times 2 = 300$  мм.

$M'_f = R_b b'_f h'_f (h_0 - 0,5h'_f) = 13,05 \times 560 \times 25 (270 - 0,5 \times 25) \times 10^{-6} = 47$  кН·м <  $M$  – следовательно, нейтральная ось сечения располагается в ребре.

$$\alpha_m = \frac{M - R_b (b'_f - b) h'_f (h - 0,5h'_f)}{R_b b h_0} =$$

$$= \frac{65,5 \times 10^6 - 13,05 (560 - 200) \times 25 (270 - 0,5 \times 25)}{13,05 \times 200 \times 270^2} = 0,185 < \alpha_R; \quad \xi = 0,206.$$

Требуемое количество продольной напрягаемой арматуры класса Ат-V

$$A_s = \frac{R_b [\xi b h_0 + (b'_f - b) h'_f]}{R_s} = \frac{13,05 (0,206 \times 200 \times 270 + 360 \times 25)}{680} = 387 \text{ мм}^2.$$

Расчет показал, что площадь сечения поврежденной коррозией арматуры продольных ребер ( $A_{s, \text{fact}} \approx 322 \text{ мм}^2$ ) незначительно меньше требуемой.

Однако необходимо учитывать, что имеющиеся в ребрах продольные трещины, расположенные на уровне рабочих стержней, свидетельствуют об интенсивно развивающейся коррозии и в дальнейшем могут привести к проскальзыванию напрягаемой арматуры, что грозит резким увеличением прогиба и ширины раскрытия вертикальных трещин в ребрах, а при массовом отслоении защитного слоя – внезапным обрушением плиты. Поэтому необходимость усиления поврежденных коррозией продольных ребер очевидна [7, 8].

Для усиления продольных ребер плит разработана стержневая шпренгельная система (шпренгель) из арматуры класса А240 диаметром 18 мм. Расчетная схема двух продольных ребер плиты показана на рис. 2.

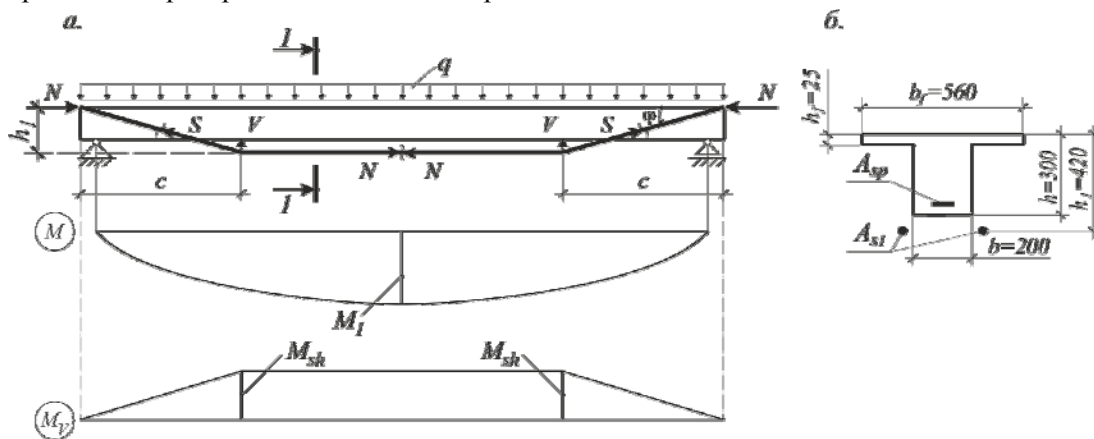


Рис. 2. Расчетная схема (а) и расчетное сечение (б) плиты, усиленной шпренгелем

Проверочный расчет в упругой стадии по известным формулам сопромата показал, что прочность продольных ребер, усиленных шпренгельной системой, увеличилась на 33,8 %, что гарантирует безопасную эксплуатацию плит при частичном (не более 40 %) отслоении защитного слоя.

Конструкция усиления продольных ребер шпренгелем представлена на рис. 3.

Технология усиления продольных ребер плит шпренгелем включает следующие этапы:

- ограждение зоны усиления от посторонних людей;
- вскрытие кровли в зоне усиления;
- обнажение торца плит в зоне усиления;
- установка в проектное положение детали М2;

- монтаж в проектное положение детали М3 с помощью сварки с предварительно вскрытыми участками конструктивной продольной арматуры;
- установка в проектное положение ветви шпренгеля М1 и натяжение стяжной (напрягающей) муфты усилием, примерно соответствующим моменту 40-50 кг·м;
- выполнение антикоррозионного покрытия металлических деталей усиления;
- восстановление кровли.

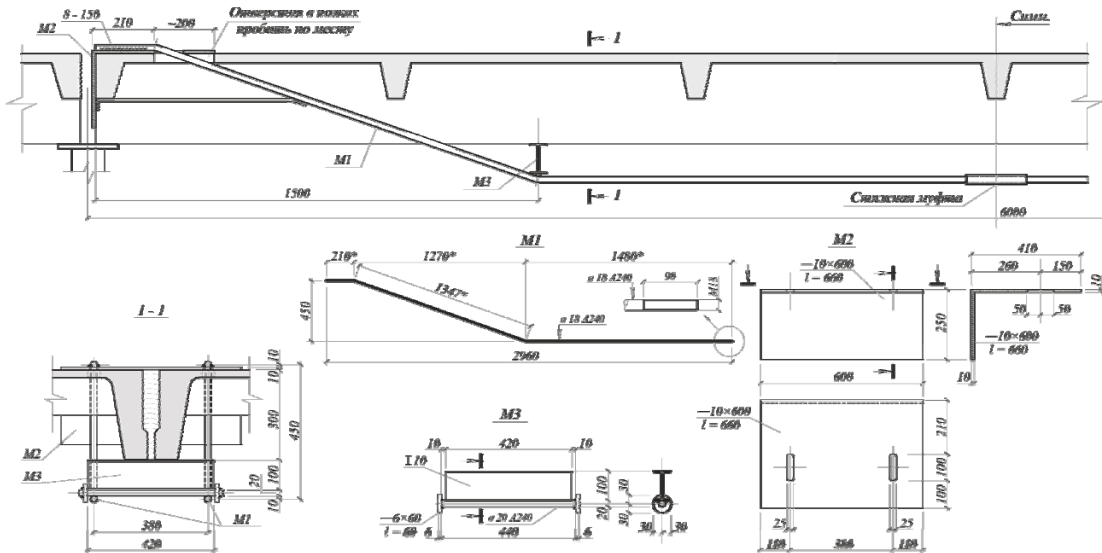


Рис. 3. Конструкция усиления продольных ребер плит покрытия шпренгелем

При значительном (более 40 %) отслоении защитного слоя необходимо выполнить комплексное усиление продольных ребер, увеличивающее их несущую способность в два и более раза. В этом случае дополнительно к шпренгелю между смежными плитами размещается стальная пластина толщиной 10-20 мм, опирающаяся на стропильные конструкции (фермы, балки) и воспринимающая часть нагрузки от плиты через опорные столики, приваренные к пластине снизу и подпирающие продольные ребра. Конструкция усиления продольных ребер стальной пластиной показана на рис. 4. Усиление пластиной выполняется перед монтажом шпренгеля.

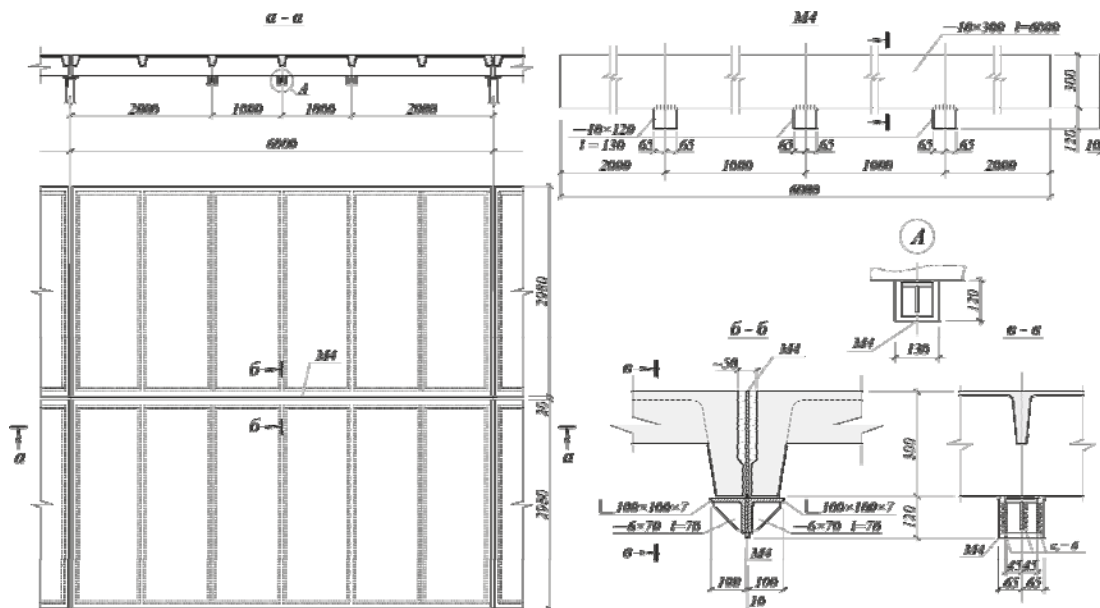


Рис. 4. Конструкция усиления продольных ребер плит стальной пластиной



Результаты проведенных аналитических и экспериментальных исследований показали, что и простое усиление ребристых железобетонных плит покрытия производственного корпуса шпренгельной системой, и комплексное – с использованием шпренгеля и стальных пластин – являются эффективными, малозатратными и нетрудоемкими. Усиление плит выполняют без остановки производственного цикла, обеспечивая лишь обязательное проведение страховочных мероприятий, ограничивающих доступ людей в опасную зону. Ремонт поперечных ребер и полки осуществляется традиционными методами, предотвращающими развитие коррозионных процессов, а при необходимости усиления к сечению полки добавляется слой армированного бетона класса не менее В15.

Исполнение комплекса перечисленных мероприятий гарантирует дальнейшую безопасную работу плит на длительный период в соответствии с требованиями действующих Норм.

#### Список литературы

1. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Т. 8, № 5-8. – С. 219–225.
2. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Т. 8, № 9. – С. 441–445.
3. Бормотов, А.Н. Многокритериальный синтез композита как задача управления: А.Н. Бормотов // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – Тамбов, 2010. – Т. 16, № 4. – С. 924–937.
4. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. – М.: ФГУП ЦПП, 2000.
5. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 24 с.
6. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Свод правил. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: ФЦС, 2012. – 156 с.
7. Гучкин, И.С. Техническая эксплуатация и реконструкция зданий / И.С. Гучкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 295 с.
8. Муленкова, В.И. Расчет и конструирование усиления железобетонных и каменных конструкций / В.И. Муленкова, Д.В. Артюшин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 118 с.

#### References

1. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8, № 5-8. – С. 219–225.
2. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8, № 9. – С. 441–445.
3. Bormotov, A.N. Multicriteria synthesis of a composite as problem of management: A.N. Bormotov // *Bulletin of the Tambov state technical university*. – Tambov, 2010. – Vol. 16, № 4. – P. 924–937.
4. SNIP 2.03.01-84\*. Concrete and reinforced concrete structures. Norms of design. – M.: FGUP CPP, 2000.
5. SNIP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. – M.: FGUP CPP, 2004. – 24 p.
6. SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures. Set of rules. Basic provisions. The staticized edition SNIP 52-01-2003. – M.: FCS, 2012. – 156 p.
7. Guchkin, I.S. The technical operation and reconstruction of buildings / I.S. Guchkin. – 2nd edition, processed and added. – M.: Publishing house of ASV, 2013. – 295 p.
8. Mulenkova, V.I. Calculation and designing of strengthening of reinforced concrete and stone structures / V.I. Mulenkova, D.V. Artyushin. – Penza: PGUAS, 2014. – 118 p.

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

## ENGINEERING SYSTEMS

УДК 69:519.7

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

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМНОГО ОБЪЕКТА: МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Рассматривается концепция проектирования системного объекта, основанная на использовании принципов моделируемости, целостности, иерархичности структуры. Она может использоваться при разработке технических и нетехнических систем различного назначения (строительные материалы, конструкции и сооружения, организационные системы и др.).

*Ключевые слова: системный объект, концепция проектирования, частные модели, обобщенная модель, моделирование, управление*

### DESIGN SYSTEM OBJECTS: SIMULATION, CONTROL

A.M. Danilov, I.A. Garkina

The concept of designing a system object, based on the use of the principle of simulation, integrity, structure hierarchycal is given. It can be used in the development of technical and non-technical systems for various purposes (building materials, construction and structures, organizational systems, and others).

*Keywords: system object, concept design, partial models, generalized model, modeling, control*

Системный подход сформировался в процессе развития человеческой мысли. Основная системная проблема выражается в положении: «Целое – больше суммы его частей (Аристотель)». Свойства предметов и способы действия на высших уровнях не могут быть представлены в виде суммы свойств и действий изолированных компонентов: чтобы понять организованную целостность, необходимо знать как компоненты, так и отношения между ними. Системные проблемы до сих пор во многом остаются философскими и до конца не сформировались как наука. Это объясняется

методологической неприспособленностью традиционной науки для анализа отношений в системах и недостаточностью имеющихся математических методов; успехи классической науки не привели к пересмотру ее фундаментальной парадигмы (*однолинейная причинность и расчленение предмета исследования на элементарные составляющие*).

Формулирование общих принципов исследования систем (целостность и сумма, дифференциация, прогрессивная механизация, централизация, иерархическое строение и т.п.) осуществляется в рамках общей теории систем. Системные законы представляются в виде *аналогий*: законов, представляющихся идентичными формально, но относящихся к описанию различных явлений в рамках разных дисциплин.

Несмотря на внешнюю простоту, очевидны затруднения в тривиальных ответах по реализации понятия «система» на различных уровнях наблюдаемого мира. Первым шагом может быть выделение реальных систем (воспринимаемых или выводимых из наблюдения и существующих независимо от наблюдателя). Символические конструкции (логика, математика и др.) также можно рассматривать как концептуальные системы (имеют реальные эквиваленты). Общая теория систем, являясь моделью определенных общих аспектов реальности, позволяет увидеть многое из того, что раньше игнорировалось (основное методологическое значение теории систем).

В основе методологии проектирования системного объекта лежит *общая формулировка технического задания на проектирование*. При проектировании систем *нового поколения* на базе традиционных происходит *усложнение решаемых задач* и, как следствие, увеличение сложности и стоимости проектирования, возрастают трудоемкость изготовления и время полного цикла создания объекта. *Цель проектирования* остается прежней, но меняется подход и методология проектирования: разработка (синтез) проекта осуществляется *методом моделирования* (разрабатываются частные модели, описывающие отдельные свойства систем). Предполагается, что множество этих взаимосвязанных и взаимозависимых моделей будет описывать систему с необходимой точностью, отражая всю совокупность ее свойств. *Объект* рассматривается как *система* (системный объект); обладает определенной завершенностью, целостностью, состоит из взаимосвязанных элементов, отличается от окружающей его внешней среды и взаимодействует с ней. Системные свойства изучаются на основе *системного подхода*.

В наиболее общем виде *системный объект обладает свойствами*:

- создается ради определенной цели, в процессе ее достижения функционирует и изменяется (развивается);
- управление системой осуществляется на основе информации о состояниях как системы так и внешней среды (моделирование поведения объекта);
- состоит из взаимосвязанных компонентов, выполняющих определенные функции в составе системы;
- свойства системного объекта не исчерпываются суммой свойств его компонентов; все компоненты при их совместном функционировании обеспечивают новое свойство (*интегративное*), которым не обладает в отдельности каждый из компонентов (*возможность управления свойствами целостной системы*).

Таким образом, фактически *проектирование системы сводится к построению ее сложной модели*; компоненты системы, в свою очередь, могут рассматриваться как системы. Проектируемая система является компонентом системы более высокого порядка (*надсистемы*). Определяется *иерархия системы* – расположение частей или элементов целого в порядке от высшего уровня до низшего. *Совокупность (объединение) всех частных, взаимосвязанных, взаимообусловленных моделей* рассматривается в качестве *проекта* всей системы. Таким образом, *проект* системы (ряд зависимостей между целями проектирования, возможными целями их достижения, а также окружающей средой и ресурсами) есть *большая сложная модель, отражающая все свойства будущей реальной системы*.

Часто наблюдаемое *типичное свойство* (связь или зависимость) объекта, процесса и явления, *устанавливаемое опытом*, при исследовании систем рассматривается как *закономерность*. Их выявление позволяет в значительной степени облегчить перенос

знаний об основных процессах, происходящих в сложных системах, из одной области в другую, независимо от их природы.

Универсальные закономерности в синергетике сложных нелинейных неравновесных открытых систем позволяют при определенных условиях переносить знания о механизмах бифуркации, деградации, самоорганизации и т.п. с одних систем на другие. Ими определяются, *в каком направлении и в каких пределах возможно развитие системы*; в каких пределах и направлениях *исключается ее совершенствование* (известные универсальные законы термодинамики предопределяют рост *энтропии*, деградации и хаоса *для закрытых систем*; рост *негэнтропии* предопределяет процесс организации и самоорганизации *открытых систем*). Условия самоорганизации или дезорганизации открытых систем определяются на основе общесистемной закономерности *возрастания и убывания энтропии*. Для стабилизации открытых систем следует рационально управлять энтропийными процессами в системах, в том числе точкой энтропийного равновесия, или критическим уровнем организации систем, амплитудой и частотой энтропийных колебаний, отводом излишней энтропии из системы вовне и т.п.

Из энтропийной закономерности вытекает важное следствие – *зависимость потенциала от степени организованности или характера взаимодействия структурных элементов системы*. Исходя из нее, можно определить зависимость потенциала системы от потенциала структурных элементов для хорошо, плохо и нейтрально организованной системы. Это *позволяет выработать рекомендации по рациональной организации и управлению системой*.

*Выбор* из возможных альтернативных вариантов *некоторого проектного решения (средство достижения целей проектирования)* осуществляется на основе некоторых показателей (критериев выбора), обобщенно характеризующих степень достижения поставленной цели тем или иным вариантом проекта. И на этой стадии проектирования система рассматривается как совокупность взаимосвязанных, управляемых подсистем, объединенных общей целью функционирования для решения заданной проблемы в некотором диапазоне условий (организмический принцип). При выборе рационального варианта и оптимизации его параметров *желательно использовать* показатель «эффективность – стоимость», отражающий соотношение между эффективностью решения поставленной задачи и суммарными затратами на решение (обеспечение максимальной эффективности при заданных затратах или обеспечение минимальной стоимости при заданном уровне эффективности). При решении отдельных задач, в том числе обороны страны, этот показатель иногда может и не учитываться.

*Любые изменения внешней среды влияют на систему*. Как правило, верно и обратное: свойства внешней среды изменяются в результате работы системы. Внешняя среда, в которой существует система, является динамической системой (ее параметры изменяются во времени). Поэтому при проектировании системы с длительным периодом эксплуатации необходимо учитывать не только сегодняшнее состояние среды, но и прогнозировать ее изменения. Как уже отмечалось, система состоит из взаимосвязанных компонентов и определяет целостность, поэтому изменение параметров любого из компонентов системы вызывает изменение работы системы и ее выходных параметров: при проектировании необходимо предусмотреть *возможные отказы (нарушение работоспособности)* подсистем и обеспечить передачу функций одной подсистемы другой. При возможности может использоваться резервирование подсистем (в простейшем случае – дублирование; наряду с основной подсистемой используется и резервная).

При проектировании желательно предусмотреть возможность использования различных *модификаций системы* (возможные прогнозы не являются *абсолютно точными!*).

Существование системы определяется некоторыми основными характеризующими ее параметрами. Их сохранение поддерживает существование самой системы и определяет ее *гомеостаз*. *Системный (общий) гомеостаз обеспечивает сохранение интегративного качества, а частный – конкретной компоненты*. Влияние изменения системных параметров на систему неодинаково и, в частности, зависит от диапазона

изменения. Пока значение системообразующего параметра  $X$  не выходит за пределы области ( $a < X < d$ ), сохраняется интегративное качество системы. Выход  $X$  за пределы области частичного гомеостаза ( $b < X < c$ ) ведет к переходу системы в новое качественное состояние без разрушения системы. С выходом параметра  $X$  за пределы области системного гомеостаза ( $a < X < d$ ) система утрачивает интегративное качество и перестает существовать. Области  $a < X < b$  и  $c < X < d$  соответствуют частичному системному гомеостазу. *Приближение интегративных параметров системы к предельно допустимым порождает системный кризис* с непредсказуемыми последствиями; дальнейшее существование системы оказывается под вопросом. *Система вступает в зону бифуркации*: под влиянием внутренних или внешних флуктуаций она либо вернется в нормальное состояние, либо перейдет в другие, приобретая новое качество.

Системный объект изучается с разных точек зрения, с применением различных формализованных количественных или хотя бы концептуальных моделей при необходимых уточнениях и структурировании сложного объекта (предварительно выделяются элементы, подсистемы, системы и надсистемы). Так, при структурном исследовании строительных материалов определяются строение, фазовый состав, связи, топология и т.п., а при функциональном – динамические характеристики (кинетические процессы сорбции агрессивных сред, разрушения материала и др. [1...4]), экономическая эффективность.

Таким образом, системный объект должен представляться в виде конечного множества моделей (принцип моделируемости), по отдельности отражающих его определенную грань. Выделенное свойство или группа свойств описывается при помощи одной или нескольких упрощенных моделей.

Наконец, проектирование с системных позиций – это проектирование части целого как элемента целого; *критерием оценки будет показатель, обеспечивающий оптимальность системы.*

#### Список литературы

1. Данилов, А.М. Математическое моделирование сложных систем: состояние, перспективы, пример реализации / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2. – С. 333–337.
2. Гарькина, И.А. Проблема многокритериальности при управлении качеством сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.О. Петренко // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 2 (41). – С. 123–129.
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. – С. 161.
4. Сложные системы модульной структуры: композиты, автономные исследования отдельных подсистем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.И. Ермолаева, А.М. Зарецкий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 2. – С. 152–156.

#### References

1. Danilov, A.M. Matematiceskoe modeling of complex systems: state and prospects, an example of realization / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Bulletin of Civil Engineers. – 2012. – № 2. – P. 333–337.
2. Garkina, I.A. Problema mnogokriterialnostipri quality management of complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.O. Petrenko // World of transport and technological machines. – 2013. – № 2 (41). – P. 123–129.
3. Danilov, A.M. Methodological principles of assessing the quality of the educational system / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.V. Markelov // Modern problems of science and education. – 2014. – № 2. – P. 161.
4. Slozhnye system modular structure: Composites, autonomous research separate subsystems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.I. Yermolayeva, A.M. Zaretsky // Proceedings of the Kazan State Architectural University. – 2011. – № 2. – P. 152–156.

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»

**Полубояринов Павел Аркадьевич**,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры «Физика и химия»

**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»

**Poluboyarinov Pavel Arkadyevich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of  
the department «Physics and Chemistry»

**Knyazev Vladimir Aleksandrovich**,  
Postgraduate «Water supply, sewerage and  
hydraulic engineering»

## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ОТРАБОТАННЫХ ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, П.А. Полубояринов, В.А. Князев

Приведены результаты промышленного внедрения новой технологии обезвреживания медьсодержащих отработанных травильных растворов печатных плат, позволяющей полностью утилизировать содержащиеся в них токсичные компоненты. Показано, что предложенная технология позволяет достичь качества обезвреженных травильных растворов, обеспечивающего возможность их сброса в приемный резервуар кислотнo-щелочных промывных вод.

*Ключевые слова: травильные растворы; технология «цементации»; отдувка аммиака; утилизация токсичных компонентов; медно-аммиачные комплексные соединения*

## NEW TECHNOLOGY OF DECONTAMINATION HIGHLY CONCENTRATED COPPER-CONTAINING ETCHANT WASTE SOLUTIONS

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, P.A. Poluboyarinov, V.A. Knyazev

The authors give the results of new technology of industrial disposal of copper-containing etchant waste from printed circuit boards, allowing to dispose toxic components containing there. It is shown that the proposed technology allows to achieve the quality of neutralized pickling solutions, enabling to discharge them into the receiving tank of acid-alkaline washing water.

*Keywords: etching solutions; technology "carburizing"; venting of ammonia; disposal of toxic components; copper-ammonia complexes*

В Российской Федерации в последнее время большое внимание уделяется вопросам охраны водного бассейна от загрязнений техногенными отходами. Одним из источников загрязнения поверхностных водоемов ионами тяжелых металлов, сульфатами, хлоридами, солями аммония являются высококонцентрированные технологические растворы, образующиеся на предприятиях радиотехнической промышленности, в частности в процессе производства печатных плат. Одной из основных операций изготовления печатных плат является операция их травления. В процессе травления до 70 % (иногда и больше) покрывающей печатную плату медной фольги стравливается в отработанные травильные растворы. Из-за отсутствия надежного оборудования, предназначенного для регенерации отработанных травильных растворов, и вследствие низкой технологической дисциплины они сбрасываются на локальные очистные сооружения предприятия – станции нейтрализации производственных сточных вод. Традиционно используемый в настоящее время на станциях нейтрализации реагентный метод осаждения катионов тяжелых металлов в виде их гидроксидов предназначен для обезвреживания низкоконцентрированных промывных вод и не может обеспечить необходимой барьерной функции локальных очистных сооружений в случае поступления на них залповых сбросов высококонцентрированных травильных растворов.

В результате сброса высококонцентрированных отработанных технологических растворов травления печатных плат в локальную канализационную сеть предприятия происходит не только потеря ценных химикатов и цветных металлов, но и существенно нарушается режим работы локальных очистных сооружений, поскольку содержащаяся в травильных растворах медь находится в виде устойчивых комплексных соединений, которые транзитом проходят через весь технологический цикл очистки сточных вод.

Комплексные соединения в сточных водах, поступающих на локальные канализационные очистные сооружения предприятия, могут быть обезврежены не получившим в настоящее время широкого распространения методом окисления ферратом натрия [1, 2].

В производственных процессах по изготовлению печатных плат используется широкая номенклатура травильных растворов. Все эти технологические растворы отличаются составом входящих в них реагентов, что обуславливает широкий спектр скоростей протекания химической реакции травления.

Для травления покрытия печатной платы используют химическое и электрохимическое травление.

В процессе электрохимического травления осуществляют процесс электрохимического (анодного) растворения меди на незащищенной поверхности покрытия печатной платы и последующее восстановление катионов стравленного металла на катоде.

Процесс электрохимического травления отличается упрощенным составом используемого электролита, высокой и стабильной скоростью травления, однако при его использовании наблюдается неравномерное удаление металла по плоскости платы и, как следствие, образование невытравленных островков.

Процесс химического травления отличается большей надежностью по сравнению с электрохимическим травлением.

Химическое травление осуществляется погружением в травильный раствор, травлением с барботажем, а также разбрызгиванием или распылением травильного раствора. Технологический процесс травления с использованием барботажа отличается от технологии простого погружения изделия в раствор тем, что в объеме травильного раствора создается большое количество пузырьков воздуха, в результате чего за счет возникновения эрлифтного эффекта возникают струйные течения, способствующие увеличению скорости травления. Травление разбрызгиванием или распылением осуществляется на специальных струйных или распылительных установках, обеспечивающих контакт поверхности обрабатываемых изделий со струей или потоком аэрозоля травильного раствора, в результате чего обеспечивается высокая скорость травления.

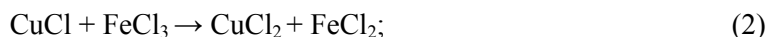
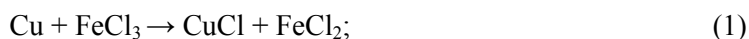
Используемые при изготовлении печатных плат травильные растворы должны соответствовать следующим требованиям:

- Реагенты должны быть дешевыми и доступными.
- Они должны обладать малым боковым подтравливанием.
- При их использовании должна обеспечиваться высокая скорость травления поверхности изделия.
- Они не должны влиять на диэлектрические свойства основы печатной платы.

В настоящее время в технологических процессах изготовления печатных плат используются разнообразные травильные растворы.

*Кислые травильные растворы на основе хлорного железа (FeCl<sub>3</sub>), которые являются окислителями*

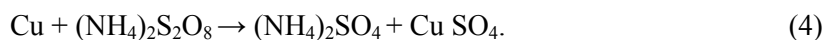
Реакции травления поверхности печатных плат в этом случае могут быть описаны формулами



Травильные растворы на основе хлорного железа отличаются дешевизной содержащихся в них компонентов и высокими скоростями процесса травления, однако при использовании их в процессах травления печатных плат на их поверхности вследствие протекания реакции гидролиза выпадает осадок Fe(OH)Cl<sub>2</sub>, отрицательно влияющий на эксплуатационные свойства получаемых изделий.

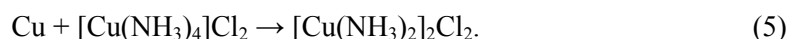
*Травильные растворы на основе персульфатов, содержащие персульфат аммония (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> и серную кислоту H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*

Процесс травления при использовании этих растворов описывается формулой

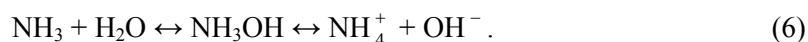


На АО «Научно-производственное предприятие «Рубин» г. Пензы широкое применение получили *аммиачные медно-хлористые травильные растворы*, в состав которых входят аммиачный комплекс двуххлористой меди и хлористый аммоний. Величина концентрации ионов меди в отработанных травильных растворах этого состава доходит до 80–100 г/л.

Процесс травления поверхности печатных плат при использовании аммиачных медно-хлористых травильных растворов протекает по реакции



Для обезвреживания отработанных растворов была предложена двухступенчатая реагентная технология [4]. На первой ступени осуществляется понижение уровня pH отработанного раствора с 10,9 до 6,4 путем добавления в него соляной кислоты. В результате понижения уровня pH равновесие реакции (6) сдвинется вправо, при этом образуется гидроокись аммония, которая диссоциирует с образованием иона аммония NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> иона:



Образовавшиеся в результате разрушения комплексного соединения ионы меди Cu<sup>+2</sup> утилизируются путем их осаждения в виде гидроксидов:



В результате реагентной обработки происходит снижение концентрации ионов меди в травильном растворе до 20 мг/л.



Вторая ступень реагентной обработки отработанных травильных растворов предусматривает осаждение аммиака в виде магний-аммонийфосфата в соответствии с реакцией



В травильные растворы, прошедшие реагентную обработку, на первой ступени добавляется хлорид магния и тринатрий фосфат, затем уровень pH доводится до 8,0, в результате чего концентрация ионов аммония снижается с 3400 мг/л до 6 мг/л.

Промышленное внедрение предложенной технологии не состоялось в виду того, что объем образовавшегося в результате реагентной обработки травильного раствора осадка существенно превышал объем образовавшихся сточных вод, а эффективная технология обезвреживания осадка не была разработана.

Применяемая для обезвреживания кислых отработанных травильных растворов технология «цементации» с использованием железного скрапа позволяет получить в качестве осадка медный порошок, имеющий чистоту 99 %, что полностью снимает вопросы, связанные с его утилизацией.

Извлечение меди из отработанных травильных растворов методом «цементации» производится в процессе их контакта с поверхностью железного скрапа. При контакте кислых отработанных травильных растворов на поверхности железа происходит выделение металлической меди и переход в раствор катионов железа, поскольку стандартный электродный потенциал железа в электрохимическом ряду напряжений металлов имеет отрицательные значения, а потенциал меди – положительные значения ( $E_{\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ В}$ ;  $E_{\text{Cu}}^0 = +0,34 \text{ В}$ ).



В процессе обезвреживания кислых отработанных травильных растворов методом «цементации» их подогревают до 50°C и погружают в них перфорированную винипластовую корзину с железным скрапом. Медный порошок промывают и собирают полученную медь.

Щелочные медно-аммиачные растворы травления не могут быть утилизированы методом «цементации» на железном скрапе. Также существенным недостатком метода «цементации» на железном скрапе является переход в раствор катионов железа.

С целью обезвреживания катионов железа оставшийся после отделения меди раствор обрабатывают известковым молоком, а образующийся осадок обезвреживают и захороняют.

Сотрудниками Пензенского государственного университета архитектуры и строительства была разработана новая технология обезвреживания медно-аммиачных растворов травления методом «цементации» на магниевой стружке, позволяющая полностью утилизировать содержащиеся в них ценные компоненты. Новизна предложенной технологии была подтверждена положительным решением к выдаче патента на заявку № 2015111384/05 (017770).

Магний имеет больший отрицательный потенциал, чем железо ( $E_{\text{Mg}}^0 = -2,37 \text{ В}$ ), и обладает повышенной химической активностью, в связи с чем он может быть использован в процессе обезвреживания щелочных медно-аммиачных растворов.

Новая технология обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов также является двухстадийным процессом и осуществляется на установке, конструктивная схема которой представлена на рис. 1.

В соответствии с разработанной технологией обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов на локальных канализационных очистных сооружениях АО «НПП «Рубин» г. Пензы была смонтирована промышленная установка.

Общий вид промышленной установки для обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов локальных канализационных очистных сооружений АО «НПП «Рубин» представлен на рис. 2.

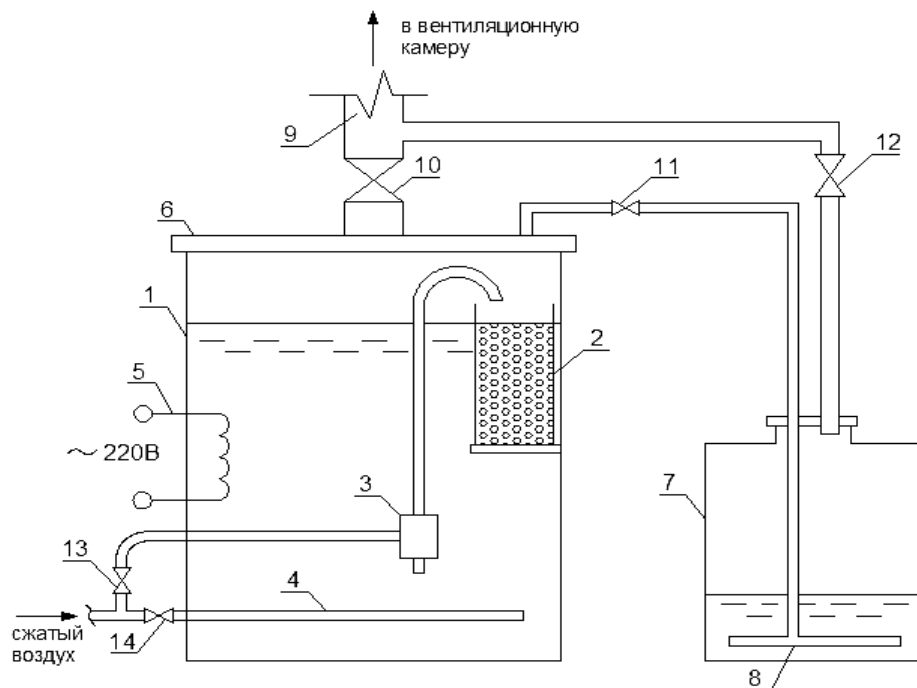


Рис. 1. Конструктивная схема установки для обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов:

- 1 – реактор; 2 – перфорированная корзина для магниевой стружки; 3 – эрлифтное устройство; 4 – пневматическая система отдувки аммиака; 5 – электротэн; 6 – съемная крышка реактора; 7 – адсорбер; 8 – воздухораспределительная система; 9 – система отвода отработанных газов; 10, 11, 12, 13, 14 – запорная арматура



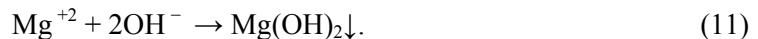
Рис. 2. Общий вид промышленной установки для обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов локальных канализационных очистных сооружений АО «НПП «Рубин»

На первой стадии процесса обработки медно-аммиачные травильные растворы заливаются в реактор 1, рабочая емкость которого составляет  $0,1 \text{ м}^3$ . В реакторе 1 предварительно устанавливается съемная перфорированная корзина 2, загруженная магниевой стружкой. Реактор 1 закрывается герметичной крышкой 6. Запорная

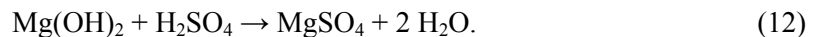
арматура 10 и 13 на системе подачи в эрлифт 3 и отвода сжатого воздуха открывается. Сжатый воздух поступает в эрлифт 3, перекачивающий отработанный травильный раствор, находящийся в реакторе 1, в карман 2, загруженный магниевой стружкой. В процессе контакта медьсодержащего отработанного травильного раствора с поверхностью магниевых стружек, находящихся в съемной перфорированной корзине 2, протекает окислительно-восстановительная реакция:



Металлический магний восстанавливает катионы меди (II) до свободного металла. Магниевая стружка растворяется, а на ее месте образуется медный порошок. Образующиеся в результате растворения металлической стружки ионы магния  $\text{Mg}^{+2}$  взаимодействуют с гидроксид-ионами  $\text{OH}^-$ , в результате чего образуются нерастворимые хлопья гидроксида магния, задерживаемые в порах загрузки съемной корзины 2.

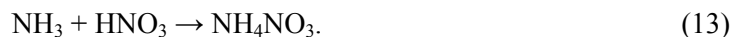


После нескольких циклов обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов съемная корзина 2 вынимается из реактора 1. Образовавшаяся гидроокись магния отделяется от медного раствора, имеющего чистоту 99 %, методом гидроклассификации. Корзина 2 засыпается свежей магниевой стружкой. Медный порошок утилизируется. Из гидроокиси магния получается ценное удобрение сульфат магния.



На второй стадии процесса обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов запорную арматуру 10 и 13, установленную на воздуховодах, открывают. Запорная арматура 11, 12, 14 закрывается.

Температура отработанных медно-аммиачных травильных растворов, находящихся в объеме реактора 1, доводится до оптимального значения  $t=40-50^\circ\text{C}$  за счет включения электротэна 5. Образовавшийся в процессе разрушения комплексных соединений свободный аммиак в процессе контакта с пузырьками воздуха, выходящими из отверстий пневматической системы 4, отдувается в газовую фазу. Насыщенный аммиаком воздух поступает в воздухораспределительную систему 8 адсорбера 7. Адсорбер 7 заполнен разбавленной азотной кислотой. В процессе реакции аммиака с азотной кислотой образуется удобрение аммиачная селитра.



Очищенный от аммиака воздух отводится в систему вентиляции 9.

Отработанный травильный раствор после обезвреживания перекачивается в накопитель промывных сточных вод. Смесь промывных сточных вод и отработанного травильного раствора проходит реагентную очистку на локальных очистных сооружениях.

Результаты, полученные в процессе обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов на локальных очистных сооружениях АО «НПП «Рубин», представлены в форме таблицы.

Результаты, полученные в процессе обезвреживания отработанных медно-аммиачных травильных растворов на локальных очистных сооружениях АО «НПП «Рубин»

№ п/п	Показатели	Концентрация загрязнений в исходных травильных растворах, мг/л	Концентрация загрязнений в обработанных травильных растворах, мг/л	Эффект очистки, %
1	Ионы меди $\text{Cu}^+$	13400	6,93	99,95
2	Аммиак $\text{NH}_3$	2680	0,5	99,98

Проведенные на локальных очистных сооружениях АО «НПП «Рубин» производственные испытания показали, что:

- предложенная технология обезвреживания медно-аммиачных травильных растворов обладает высокой барьерной функцией по отношению к ионам меди (эффект очистки 99,95 %) и аммиака (эффект очистки 99,98);
- полученное качество травильных растворов, прошедших обработку в соответствии с предложенной технологией (концентрация ионов меди  $C_{Cu}=6,93$  мг/л, аммиака  $C_{NH_3} = 0,5$  мг/л) позволяет сбрасывать их в приемный резервуар кислотно-щелочных промывных вод;
- в соответствии с предложенной технологией высокотоксичные компоненты отработанных травильных растворов утилизируются в виде порошка меди (чистотой 99 %) и удобрений (сульфата магния и аммиачной селитры).

### Список литературы

1. Андреев, С.Ю. 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 // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С.152–156.
2. Яхкинд, М.И. Использование методов химического и электрохимического окисления соединений железа в технологии получения ферратов / М.И. Яхкинд, С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №1. – С.130–135.
3. Гогина, Е.С. Ресурсосберегающие технологии / Е.С. Гогина. – М.: АСВ, 2012.
4. Зуева, Т.В. Разработка технологии утилизации отработанных медно-аммиачных растворов травления: автореф. канд. техн. наук / Т.В. Зуева. – Пенза, 2014.

### References

1. Andreev, S.Yu. 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 // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2. – P.152–156.
2. Yakhkind, M.I. Methods of iron compounds chemical and electrochemical oxidation in the technology of ferrates preparation production / M.I. Yakhkind, S.Y. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev // Regional architecture and engineering. – 2015. – №1. – C.130–135.
3. Gogina, E. S. Resource-saving technologies / E. S. Gogina. – M.: ACB, 2012.
4. Zueva, T. V. Development of technology of utilization of spent copper-ammonia etching solutions: author. cand. and tech. Sciences / T. V. Zueva. – Penza, 2014.

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

## ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ И СИНТЕЗУ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Рассматриваются фундаментальные принципы анализа и синтеза человеко-машинных систем. Даются примеры приложений к структурированию и параметрической идентификации сложных систем.

*Ключевые слова: эргатические системы, анализ и синтез, системный подход, структурирование, параметрическая идентификация*

## APPROACH TO THE ANALYSIS AND SYNTHESIS OF ERGATIC SYSTEMS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

We consider the fundamental principles of analysis and synthesis of human-machine systems and give examples of applications to structuring and parametric identification of complex systems.

*Keywords: ergatic system, analysis and synthesis, systematic approach, structuring, parametric identification*

Разработка любой эргатической системы начинается с ее феноменологического описания и последующего когнитивного моделирования [1, 2]. Одной из основных задач является определение *структуры системы* (обычно на основе *ориентированного графа – когнитивной карты*).

Укажем *фундаментальные понятия*, без четкого определения которых нельзя осуществлять как анализ, так и синтез эргатической системы. *Физическая система, в той или иной мере зависящая от участия в ней человека, является эргатической* (физические системы, созданные людьми, являются эргатическими). С точки зрения теории управления эргатическая система представляет собой совокупность объектов управления (ими могут быть и люди), с которыми взаимодействует человек, осуществляющий функцию управления. *В качестве решающего и управляющего звена выступает человек*. В человеко-машинной системе оператор управляет машиной (вообще говоря, человек может управлять и другими людьми). Человек-оператор осуществляет трудовую деятельность (взаимодействие с предметом труда, машиной, другими людьми и внешней средой) с использованием информационной модели и органов управления.

*Работоспособность эргатической системы* определяется состоянием эргатической системы, при котором возможно выполнение заданных функций (с параметрами, установленными техническим заданием на решаемую системой задачу). Если функционирование невозможно, то эргатическая система не работоспособна. *Цель системы* определяется долгосрочным желаемым результатом (в заданном промежутке времени может быть и не достижимым), к которому должна стремиться система. Ближайший желаемый результат, достижимый за период действия системы, является *итогом*. Цель эргатической системы определяется всеми видами желаемых результатов. *Качество системы* зависит от приемлемости системы для решения конкретной задачи (или класса конкретных задач). Оценка приемлемости производится по времени функционирования, совокупности входных воздействий и выходных величин (показателей), а также совокупностью управляющих воздействий (переводят эргатическую систему из начального в конечное состояние; определяются свойствами целевого подмножества). Функционально завершенную часть эргатического процесса, имеющую самостоятельную цель или задачу, можно рассматривать как *операцию* (последовательность движений или групп движений – элементарные акты). Личными качествами человека-оператора определяется *способ действий (индивидуальная совокупность умственных, моторных средств)*. К ним оператор прибегает сознательно или стихийно с учетом условий деятельности. При одной и той же цели (построение эргатического процесса) для ее достижения могут использоваться разнообразные способы действий (исходя из одной или нескольких доктрин).

*Обученность оператора* (состояние эргатической системы, обусловленное профессиональной подготовленностью человека-оператора) характеризуется стабилизацией показателей его работоспособности при последовательном предъявлении однотипных задач. Уровень обученности (способность оператора выполнять работу с заданным качеством) определяется совокупностью специальных знаний, умений, навыков.

*Качество эргатической системы определяется на основе количественных показателей*; успешность каждой операции (эргатического процесса) – тактической и технической приемлемостью системы (показатель эффективности эргатической системы – возможность достижения поставленной цели в заданных условиях с определенным качеством). Человек-оператор вместе с устройством индикации, пультом управления, вспомогательными устройствами ручной настройки и т.д. составляют собственно эргатическую часть системы. Способность оператора перестраивать структуру и параметры своей деятельности для повышения качества эргатического процесса, реализуемого системой (*организмический принцип*), определяет адаптивность целостной системы.

В качестве *показателей адаптивности* нами использовались:

- скорость изменения показателей качества;
- минимальное значение показателя качества, достигаемое системой на заданном интервале времени или за обусловленное число циклов (*порог обучения*);
- рассеивание показателей качества на пороговом уровне;
- знак скорости изменения *функционала качества*.

*Мотивация как свойство эргатической системы определялась как возможность регулирования интенсивности показателя адаптивности при изменении цели эргатического процесса*. Отметим, что изменение деятельности одного человека-оператора в эргатическом процессе может вызвать изменение деятельности одного или нескольких человек (последствие или стимуляция; вид взаимосвязи не имеет значения). *При моделировании относительно простых систем приемлемые результаты дает использование детерминистических подходов (основываются на определении с удовлетворительной достоверностью причинно-следственных связей)*. Однако при исследовании сложных систем они являются малоэффективными. Возникает необходимость в разработке иных алгоритмов оптимизации параметров исследуемой системы, позволяющих учитывать специфические требования к системам. Естественно, предполагается использование как *индуктивных* (строятся путем обобщения наблюдений по единичным частным фактам, которые считаются важными для принятия управлен-

ческого решения), так и *дедуктивных* (исходят не из анализа конкретных фактов, а из гипотетической упрощенной системы).

Характеристики системы относительно просто определяются по ее структуре. Так, для управляемой системы, схема которой приведена на рисунке, справедливо:

$$x(t) = l(t) + z(t), \quad F(\tau) = R_{lx}(\tau) - R_l(\tau),$$

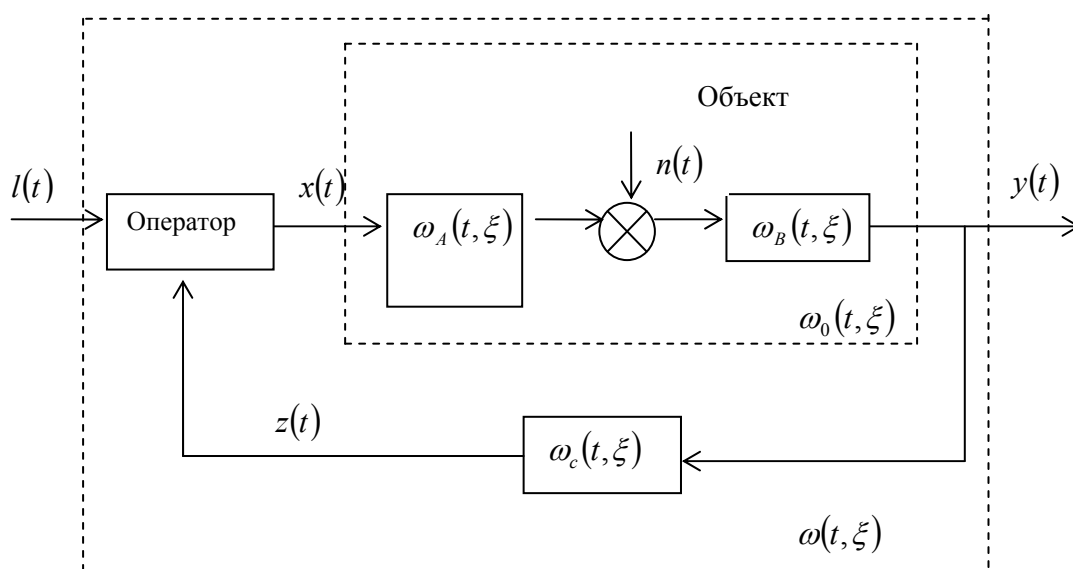
$$W_H(j\omega) = \frac{S_F(j\omega)}{S_{lx}(j\omega)}, \quad W_{oc}(j\omega) = \frac{S_{zy}(j\omega)}{S_y(j\omega)},$$

$$W_o(j\omega) = \frac{W_H(j\omega)}{W_{oc}(j\omega)}, \quad W_H(j\omega) = \frac{W_o(j\omega)}{W_{oc}(j\omega)}.$$

При  $z(t) = -y(t)$  (единичная отрицательная обратная связь):

$$W_o(j\omega) = -W_H(j\omega) = -\frac{S_F(j\omega)}{S_{lx}(j\omega)}$$

(знания  $n(t)$  для определения  $W_o(j\omega)$  не требуется).



Структурная схема управляемой системы:

$l(t)$  – входное возмущение (или программа);  $x(t)$  – сигнал ошибки системы

(исполнительный сигнал);  $z(t)$  – сигнал обратной связи;  $n(t)$  – помеха;

$\omega(t, \xi)$  – импульсная переходная функция системы;  $\omega_0(t, \xi)$  – импульсная переходная

функция объекта;  $\omega_c(t, \xi)$  – импульсная переходная функция обратной связи;

$\omega_A(t, \xi)$  – импульсная переходная функция части объекта,

где действием помехи можно пренебречь

К сожалению, формализованное описание системы не всегда возможно, и, как правило, возникает необходимость использования итеративных методов [3...5]. Однако и в этих случаях наиболее важным остается предварительное структурирование эргатической системы [6].

*Обеспечение эффективности и надежности* человеко-машинных систем (подъемно-транспортные, автомобильные, авиационные и т.д.) непосредственно связано с изучением психики человека в самых различных условиях, в том числе и в *предельных состояниях*. Моделью предельного случая предусматривается психическая патология

(возможен избыток побочных шумов, дефицит информации, артефакты (любой искусственно созданный объект, продукт человеческой деятельности) психического отражения ситуаций и неадекватного поведения). При *феноменологическом описании деятельности человека* в зависимости от состояния его психики и факторов, влияющих на ее надежность, в качестве *входов* системы рассматриваются:

- психопатологическое отягощение (наличие психозов и пограничных форм);
- особенности личности с наиболее часто встречающимися вариантами нормы и аномалиями;
- вредные воздействия в течение жизни;
- отрицательные факторы в рассматриваемый момент.

На *выходе* системы:

- основные уровни психики (сон – бодрствование, интеллект, мышление, эмоциональная сфера, память);
- информационно-отражательные механизмы восприятия и узнавания, представления и воображения и др.;
- параметры целенаправленной деятельности;
- признаки для оценки действий, высказываний, решений и т.д.

Статистический анализ данных нормального функционирования ряда человеко-машинных систем подтвердил *высокую зависимость между наследственным психопатологическим отягощением, аномальными признаками личности и остаточными явлениями перенесенных заболеваний, с одной стороны, и нарушениями психического отражения и организацией деятельности – с другой*. Указанная зависимость является неспецифической, не связана с видом возникшей психической болезни и *имеет место во всех случаях предельных состояний*. В качестве количественных характеристик зависимостей нами использовались меры:

- зависимость случайного события  $Y$  от случайного события  $X$  (условная вероятность  $\mu Y(X)$ );

– зависимости  $Y$  от событий  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ;  $P(Y) = \sum P(X_i)P(Y|X_i)$  – для независимых  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (можно говорить, что  $Y$  есть линейная комбинация событий  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , то есть  $Y = \sum \mu Y(X_i)X_i$  (речь идет не о линейной функциональной зависимости  $Y$  от  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ; эта зависимость может быть гораздо более сложной и нелинейной).

При использовании дискретных случайных величин  $Y$  в качестве меры зависимости использовалась  $\mu Y(X) = \sum P(y_i|x_j)P(x_j)$ ;  $x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_n$  – возможные значения  $X$  и  $Y$ , которая определялась по выборке (сначала по всей выборке, затем по репрезентативным частям с минимальным пересечением, а затем среднее значение).

*Психофизиологическая напряженность оператора косвенно характеризует степень совместимости человека с машиной*; позволяет определить область исследований для повышения эффективности эргатических систем. Локализация исследований возможна по зависимостям напряженностей от структуры и характеристик отдельных составляющих деятельности оператора. Современные биотехнические комплексы позволяют оценить не только моторные, но и зрительные маршруты (используются и датчики, устанавливаемые непосредственно на теле оператора). В качестве параметров, характеризующих психофизиологическую напряженность на разных этапах, использовались математические ожидания (соответствующие значения указаны в скобках):

- частоты сердечно-сосудистых сокращений (79; 67; 99; 110);
- частоты дыхания (20; 14; 23; 25);
- длительности переноса взгляда (0,025; 0,03; 0,03; 0,02, с).

В частности, длительность переноса взгляда имела обратную корреляционную связь с частотой сердечно-сосудистых сокращений и дыхания (широко используется



для оценки психофизиологической напряженности оператора в реальных и имитируемых условиях).

Известно, что в процессе функционирования эргатической системы оператор опрашивает объект, определяет его реакцию и работает в импульсном режиме; управление  $u(t)$  представляется в виде последовательности следующих друг за другом импульсов. Высота (или амплитуда)  $A_v$ , длительность  $\tau_v$ , время появления  $t_v$  есть случайные параметры импульсов. Для взаимно независимых неперекрывающихся импульсов ( $t_v + \tau_{v+1} \leq t_{v+1}$ ,  $v = 0, 1, 2, \dots$ ) спектральная плотность

$$S(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} M \left[ \left| F_T(j\omega) \right|^2 \right]; F_T(j\omega) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} u(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Так что характеристиками управляющих воздействий можно считать амплитуды, длительности и вероятности их распределения.

Вид и структура управляющих воздействий зависят от собственных частот колебаний  $\omega_k$  и безразмерных коэффициентов демпфирования  $\xi_k$ ,  $k \leq \frac{n}{2}$ . Предпочтительными с инженерно-психологической точки зрения для рассматриваемых систем были значения  $\omega_k \in (3 \dots 4, 5)$ ,  $c^{-1}$ ;  $\xi_k \approx 0, 5$ .

Адаптацию оператора к значениям  $\omega_k$  и  $\xi_k$  оценивали величинами

$$D_k = \int_{\omega_k - \Delta\omega'_k}^{\omega_k + \Delta\omega''_k} S_{uk}(\omega) d\omega, P_k = P(\omega_k - \Delta\omega'_k < \omega < \omega_k + \Delta\omega''_k),$$

где  $D_k$  и  $P_k$  – соответственно дисперсия, приходящаяся на участок  $\omega_k - \Delta\omega'_k < \omega < \omega_k + \Delta\omega''_k$ , и вероятность попадания частоты  $\omega$  в управляющих воздействиях оператора на этот участок; значения  $\Delta\omega'_k, \Delta\omega''_k$  определялись по виду  $S_{uk}(\omega)$ . Чем меньше  $\xi_k$  и чем лучше оператор приспособился к значению  $\omega_k$ , тем больше значение  $S_{uk}(\omega_k)$ .

Результаты исследований эффективно использовались при настройке параметров тренажеров мобильных систем.

#### Список литературы

1. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 3–4. – С. 30–37.
2. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование сложных слабоструктурированных систем: пример реализации / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2008. – № 2. – С. 16–21.
3. Бudyлина, Е.А. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем / Е.А. Бudyлина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 150–156.
4. Данилов, А.М. Итеративный теоретико-экспериментальный метод построения критериев качества многоцелевых систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Я.И. Сухов // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 2 (23). – С. 120–124.
5. Budylina, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylina, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Т. 8. – № 9. – С. 441–445.

6. Данилов, А.М. Структурирование эргатических систем / А.М. Данилов, А.С. Давыдов // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 3–1 (47). – С. 167–170.

#### References

1. Garkina, I.A. Cognitive modeling of composite materials in the synthesis of complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Proceedings of the higher educational institutions. Building. – 2009. – № 3–4. – P. 30–37.

2. Garkina, I.A. Cognitive modeling of complex semi-structured systems: application example / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Regional architecture and engineering. – 2008. – № 2. – P. 16–21.

3. Budylna, E.A. Approximate decomposition methods when configuring simulators of dynamical systems / E.A. Budylna, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3. – P. 150–156.

4. Danilov, A.M. Iterative theoretical-experimental method for constructing of quality criteria of multi-purpose systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina, Ya.I. Sukhov // Regional architecture and engineering. – 2015. – №2 (23). – P.120–124.

5. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Т. 8. – № 9. – С. 441–445.

6. Danilov, A.M. Structuring ergatic systems / A.M. Danilov, A.S. Davydov // Modern scientific research and innovation. – 2015. – № 3–1 (47). – P. 167–170.

УДК 519.87 : 66.087

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

**Кузина Валентина Владимировна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Информационно-  
вычислительные системы»  
E-mail: kuzina@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

**Kuzina Valentina Vladimirovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Information and  
computing systems»  
E-mail: kuzina@pguas.ru

## ИНТЕРФЕЙСНАЯ ПОДСИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА И ГРАФИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕГИОНА

В.В. Кузина

Дается описание разработанной интерфейсной подсистемы, которая включает в себя визуальный интерфейс и прикладное программное обеспечение в виде динамической библиотеки.

*Ключевые слова: информационная система, интерфейсная подсистема, ориентированный граф, массоперенос в водной среде, математическое моделирование*

## INTERFACE SUBSYSTEM OF INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS AND GRAPHIC DESCRIPTION OF WATER RESOURCES OF THE REGION

V.V. Kuzina

The description of the developed interface subsystem is given; a consists of the visual interface and applied software in the form of dynamic library.

*Keywords: information system, interface subsystem, oriented graph, mass transfer in water environment, mathematical modeling*

Для мониторинга экологических процессов в водной среде разрабатывался комплекс программ, предназначенный для создания автоматизированной системы управления и контроля состояния водных ресурсов региона [1, 2]. Здесь рассматривается создание интерфейсной подсистемы для информационной системы (ИС). Ее функциями являются: ведение базы данных (БД) водных ресурсов, математическое моделирование и визуальное представление распространения веществ в водной среде.

Под водными ресурсами будем понимать совокупность рек, водохранилищ, озер, прудов, ручьев, болот, некоторых участков почвы вместе с их свойствами; под ведением БД – сбор, редактирование и автоматизированный анализ информации о водных ресурсах.

Водные ресурсы в ИС представлены в виде направленного графа [1–3]. Граф может быть несвязным. Ребра графа – это участки водоемов, вершины – контрольные точки и места, где сходятся или расходятся участки рек. Ребрам и вершинам графа соответствует набор свойств, например: для ребер это может быть площадь сечения русла, расход воды и др. Такой способ представления водных ресурсов позволяет смоделировать распространение вещества в речной сети, однако возникают сложности при описании стоячих круглых болот, озер. Анализ информации о водных ресурсах представляет собой вывод статистических данных, отбор объектов с заданными признаками.

К функциональным требованиям ИС относится следующее:

- 1) система должна осуществлять защиту данных от несанкционированных действий пользователей;
- 2) система должна обеспечивать эффективную работу без возможных ошибок и сбоев на всех ее уровнях;
- 3) работа в системе должна производиться в режиме диалога, в расчете на пользователя-непрограммиста, с помощью удобного интерфейса.

При создании любой программы, а особенно при разработке информационной системы, пользователями которой будут экологи, гидрологи и другие специалисты, не являющиеся профессионалами в области информационных и компьютерных технологий, придается большое значение внешнему облику программы. Даже если программа обладает огромными возможностями по выполнению операций применительно к конкретной предметной области, но имеет недостаточно удобный интерфейс, затрудняющий ее использование, то пользователь, скорее всего, предпочтет программу других разработчиков, пусть даже функционально программа будет несколько слабее. Поэтому визуальный интерфейс данной ИС должен обеспечивать наглядность программы и легкий доступ ко всем частям системы.

Интерфейсная подсистема включает в себя внешнюю оболочку, объединяющую все компоненты, предназначенные для выполнения различных функций программы. Основная цель ее создания – разработка визуального интерфейса и прикладного программного обеспечения, которое представляет собой настроечный компонент в виде динамической библиотеки. Библиотека подключается в ходе разработки программы и позволяет сохранять некоторые свойства объектов в файл, содержимое которого в ходе работы программы можно изменять.

При реализации интерфейсной подсистемы исходили из требований:

- создание графического интерфейса, состоящего из ряда окон, которые должны быть выдержаны в едином стиле, основанном на оформлении таких программ, как MS Word или VS .NET 7.0;
- возможность объединения всех созданных функциональных компонент и добавление вновь разрабатываемых компонент ИС;
- возможность произвольно изменять положение любого окна;
- возможность прикрепления окон к любой стороне рабочей области программы, а также расположения их вне окна программы;
- возможность сохранения настроек программы, в том числе сохранение состояния окон при закрытии программы;
- возможность подключения БД до инициализации рабочих модулей для обеспечения правильного функционирования программы и прекращение выполнения программы, если необходимого файла не существует.

Для создания интерфейсной части информационной системы анализа и графического описания водных ресурсов региона были использованы среда разработки Visual Studio .NET, в частности объектно-ориентированный язык программирования C#, и специальные компоненты Sanddock и Sandbar. Они позволяют создать внешний вид программы в стиле Microsoft Word или среды разработки Visual Studio .NET.

Выбирался способ хранения настроек: реестр Windows, база данных, двоичный файл, просто текстовый файл, ini-файл или XML-файл. Реестр очень удобен для хранения, однако перенос настроек с одного компьютера на другой затруднен, а при переустановке операционной системы (ОС) такие настройки могут быть потеряны. БД используется не в каждом приложении, поэтому универсальным такое хранилище не является. Двоичные файлы удобны для хранения больших объемов данных. Однако настройки, как правило, довольно невелики, к тому же в случае двоичного файла обязательно требуется специализированный редактор, и затруднен переход от версии к версии, что делает его не очень удобным способом хранения. Текстовые файлы могут хранить любую информацию, однако для таких настроек необходим собственный парсер. Ini-файл удобен, однако в нем сложно хранить списки и иерархически организованные данные.

XML-файл свободен от перечисленных недостатков, поэтому именно он был выбран в качестве хранилища. Кроме того, информацию о свойствах объектов, которая содержится в этом файле, в ходе работы программы можно изменять. XML-файл представляет собой текстовый (text-based) формат на расширяемом языке разметки XML (eXtensible Markup Language), во многом схожем с HTML и предназначенном для описания в текстовой форме структурированных данных. Термин «расширяемый» означает, что на основе XML можно создавать различные расширения – специализированные языки разметки. Язык XML можно рассматривать как технологию интеграции программных компонент.

Интерфейсная подсистема выполнена в виде запускаемого файла startISWR.exe и набора библиотек, необходимых для работы программы. Для установки программы на компьютер пользователя следует запустить программу-инсталлятор Setup.exe. Для работы инсталлятора требуются файлы: Setup.msi, setup.ini, InstMsiW.Exe. Программа установки предложит по умолчанию путь, который при необходимости можно изменить. После нажатия на кнопку «Next» будет выполнен процесс установки программы и необходимых компонент по ранее указанному пути.

После установки запускаем файл startISWR.exe, открыв соответствующую папку.

Перед запуском программы следует убедиться в существовании файла graph1.mdb. Во время установки он записывается в тот же каталог, что и запускаемый файл. Этот файл может находиться в любом другом месте, но тогда следует указать путь в файле conf.xml, изменив значение атрибута «val» в строке со значением dbpath. Если этого не сделать, то программа будет выводить предупреждение.

Также во время установки создаются файлы динамических библиотек: C1.Common.dll, C1.Win.C1FlexGrid.dll, C1.Win.C1Input.dll (библиотеки для создания таблиц); DataFactory.dll, DataStorage.dll, GraphDBEditor.dll, VectorEditorSimple.dll (библиотеки, осуществляющие работу с данными и графическим редактором); SandBar.dll, SandDock.dll (библиотеки, используемые для создания окон и меню). При отсутствии какого-либо из этих файлов система выдает сообщение о критической ошибке. Поэтому наличие всех библиотек обязательно.

После запуска файла startISWR.exe на экране появляется окно, представленное на рис. 1. На данном этапе происходит проверка существования файла БД: если программе не удалось его найти, то система выводит сообщение с просьбой указать другой файл. При этом на экране появляется окно выбора файла БД. Если по каким-либо причинам файл не будет указан, то на экране появится сообщение об ошибке, и программа будет закрыта.



Рис. 1. Заставка программы

Если файл будет выбран, то продолжится дальнейшая загрузка, и на экране появится главное окно программы. С помощью панели инструментов или меню «Вид» на экран можно вывести все доступные окна программы. После этого окно будет выглядеть примерно так, как представлено на рис. 2.

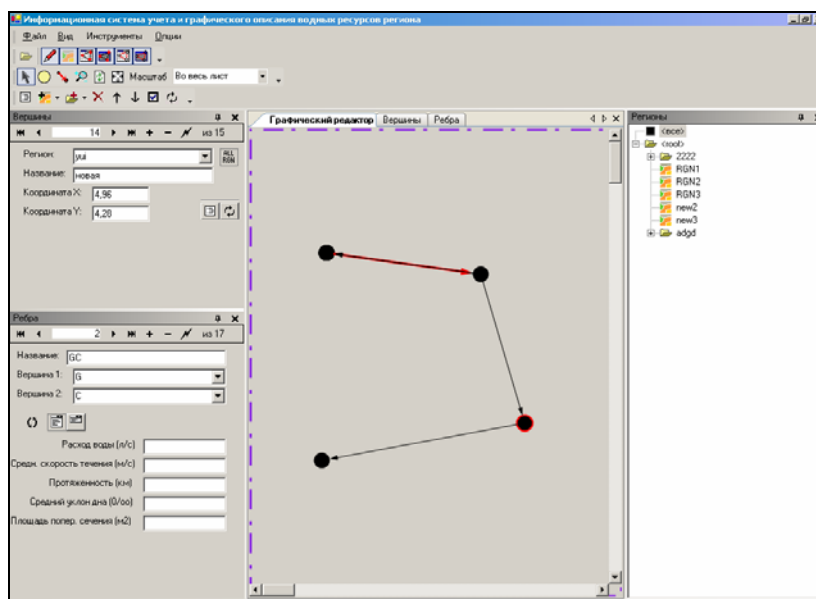


Рис. 2. Окно после открытия всех окон

В процессе работы расположение окон программы можно менять по усмотрению пользователя. Настройка расположения сохраняется при закрытии программы, и при последующей загрузке программа восстанавливает положение окон. Возможность перемещения отсутствует только у окна «Графический редактор».

Программа имеет несколько панелей инструментов: главную панель, инструменты для графического редактора, инструменты окна «Регионы». Панели инструментов можно убирать с экрана, располагать в любой части экрана или прикреплять к одной из сторон главного окна. При открытии программы расположение панелей инструментов также сохраняется в том виде, в котором они были при закрытии. При отсутствии на экране окна, связанного с панелью инструментов, эта панель становится недоступной. Имеется возможность удалять кнопки из панели или добавлять ранее удаленные.

Программа состоит из двух модулей:

1) Form1.cs, в котором осуществляются первоначальная загрузка программы и вывод на экран заставки в виде карты Пензенской области с отображенными на ней водными ресурсами. Также в этом модуле осуществляется проверка существования файла базы данных graph1.mdb;

2) mainForm.cs – включает в себя как реализацию всего визуального интерфейса, так и объединение функциональных частей системы.

Предложенная интерфейсная подсистема позволяет строить графы водной сети по введенным данным и, наоборот, по заданному графу получить относительную водную сеть. Рекомендуется применять в качестве визуального и функционального компонентов информационной системы анализа и графического описания водных ресурсов региона, предназначенной для экологического мониторинга.

1. Кузина, В.В. Разработка автоматизированной системы управления и контроля над состоянием водной среды региона / В.В. Кузина, А.Н. Кошев // Автоматизация и современные технологии. – 2013. – № 4. – С. 44–48.
2. Кузина, В.В. Математическое моделирование в задачах мониторинга состояния водной среды: монография / В.В. Кузина, А.Н. Кошев. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 144 с.
3. Кошев А.Н. Дискретная математика: в 2 ч. Ч. I. Элементы дискретной математики. Ч. II. Элементы теории графов / А.Н. Кошев, В.В. Кузина. – Пенза: ПГАСА, 2002. – 156 с.

## References

1. Kuzina, V.V. Development of an automated control system and monitoring over a condition of an aqueous medium of the region / V.V. Kuzina, A.N. Koshev // Automation and the modern technologies. – 2013. – No. 4. – P. 44–48.
2. Kuzina, V.V. Mathematical modeling in problems of monitoring of a condition of the water environment: monograph / V.V. Kuzina, A.N. Koshev. – Penza: PGUAS, 2014. – 144 p.
3. Koshev, A.N. Discrete mathematics. In two parts. Part I. Elements of discrete mathematics. Part II. Graph theory elements / A.N. Koshev, V.V. Kuzina. – Penza: PGASA, 2002. – 156 p.

# АРХИТЕКТУРА

# ARCHITECTURE

УДК 728.1.05 : 711.523 (470.23-25)

Общество с ограниченной  
ответственностью «БЭСКИТ»

Россия, 191123, Санкт-Петербург,  
ул. Кирочная, д. 19

**Ковалев Дмитрий Сергеевич**,  
главный архитектор проектов  
E-mail: krofts@yandex.ru

Limited liability company «BESKIT»

Russia, 191123, St. Petersburg, 19,  
Kirochnaya St.

**Kovalev Dmitriy Sergeevich**,  
Senior Architect  
E-mail: krofts@yandex.ru

## КВАРТИРЫ ВЫСОКОГО И СРЕДНЕГО ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО УРОВНЯ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНАХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА: ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ПЛАНИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Д. С. Ковалев

Представлены результаты сравнительного анализа функционально-планировочных решений квартир высокого и среднего уровней комфорта в центральных районах Санкт-Петербурга. Цель исследования – зафиксировать дифференцирующие факторы, позволяющие отнести жилье к одному из рассматриваемых классов. Используются сведения, представленные риэлторами, произведено сравнение характеристик квартир, исходя из позиционирования жилья на рынке специалистами по продажам. Полученные данные позволили выделить решения, которые могут служить научной основой при разработке проектов жилья рассмотренных классов комфортности. Установлено, что характеристики высококлассных квартир и жилья среднего потребительского уровня могут быть тождественны, что не позволяет провести между классами четкую границу.

*Ключевые слова: качество жилья, элитные квартиры, квартиры среднего уровня, дифференцирование качества квартир*

## APARTMENTS FOR HIGH AND MEDIUM CONSUMER LEVEL IN THE CENTRAL DISTRICTS OF ST. PETERSBURG: DIFFERENTIATION OF FUNCTIONAL PLANNING CHARACTERISTICS

D. S. Kovalev

The paper analyzes the data of functional planning decisions of apartments of high and medium levels of comfort in the central districts of St. Petersburg. The purpose of the study – to refer the differentiating factors that housing to one of the classes under consideration. The authors performed a comparison of characteristics of flats of different levels of comfort on the basis of a analysis of the publications of realtors, based on the positioning of the housing market sales department. The data obtained allowed to identify specific solutions that can serve as a scientific basis for the development of housing projects of considered class comfort. It was found that the characteristics of high-end apartments and housing, the average consumer level may be identical, that does not allow for a clear distinction between classes.

*Keywords: quality of accommodation, luxury apartments, apartments of midrange quality, differentiation of apartments, quality apartments*



Цель настоящей статьи – установить факторы, учет которых позволяет профессионалам строительного рынка относить квартиру к высокому или среднему уровню комфортности. Для реализации поставленной задачи проанализированы объявления о продажах квартир в новостройках центральных районов Петербурга. Рассмотрены: 22 элитных здания (2448 квартир) и 15 домов бизнес-класса (6963 квартир). Отбор высококлассного жилья и квартир средней комфортности выполнялся на основании их рыночного позиционирования специалистами по продажам.

**Видовые характеристики.** Если престижность дома определяется местом, то качество квартир – видом из окон. Наилучшие видовые панорамы в квартирах предусматриваются в помещениях общественной функциональной зоны: едином пространстве кухни – гостиной – столовой (27 %) или отдельных помещениях кухни \ кухни-столовой (13 %) и гостиной (11 %). В приватной функциональной зоне приоритет отдается главной спальней в четверти случаев, реже дополнительным спальным (13 %). Новеллой высококлассных квартир можно считать видовые совмещенные санитарные узлы при главной спальне (8 %). Эстетичный вид из рабочего кабинета предусмотрен лишь в одном проценте квартир.

В среднем классе элитные виды из окон фиксируются в единичных квартирах, расположенных в более чем десяти процентах зданий.

**Объемно-пространственные решения.** В сегменте высококлассного жилья доля многоуровневых квартир крайне незначительна (3 %), в среднем классе они не фиксируются вообще.

Минимальная высота помещений в высококлассных квартирах варьируется в зависимости от видовых характеристик: для квартир с уникальными панорамами из окон она составляет 3,3 м, жилье с более скромными характеристиками начинается от 3,0 м. Характерная максимальная высота элитных квартир составляет 3,8 м (единично фиксируются и двусветные пространства общественной зоны высотой до 7,2 м).

Высота помещений квартир среднего класса составляет 2,8-3,0 м, в отдельных случаях достигая 3,3 м.

**Функциональное зонирование.** В отличие от квартир среднего класса, элитное жилье может включать помимо общественной и приватной функциональных зон дополнительную зону пребывания прислуги. Такое решение фиксируется в 8 % высококомфортных квартир.

**Санитарно-гигиенические помещения.** Анализ планировочных решений жилья рассматриваемых потребительских уровней позволил классифицировать комфортность квартир в зависимости от обеспеченности санитарно-гигиеническими помещениями (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Дифференцирование комфортности планировочных решений квартир исходя из обеспеченности их санитарно-гигиеническими помещениями

Состав и расположение санитарно-гигиенических помещений	Класс комфортности квартиры				
	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс	5 класс
Совмещенный санузел обслуживает все спальни и гостей (ГХ)					
Совмещенный санузел обслуживает все дополнительные спальни, а также является гостевым (ГХ)					
Отдельный совмещенный санузел при главной спальне (Х)					
Совмещенный санузел обслуживает все спальни в квартире (Х)					
Уборная гостевая (Г)					
Совмещенный санузел обслуживает все спальни, за исключением главной спальни (Х)					
Отдельный совмещенный санузел при 2-й дополнительной спальне (Х)					
Отдельный совмещенный санузел при 3-й, а также каждой последующей спальне (Х)					

Условные сокращения: Г – для обслуживания гостей; Х – для обслуживания хозяев жилья; ГХ – комбинированный.

Для высококлассных квартир наиболее характерно применение планировочных решений 3-го (28 %) и 5-го (43 %) классов комфортности. Доля других классов практически равномерно распределена среди оставшихся. В среднем классе применение 3-его (53 %) и 1-го (35 %) классов комфортности практически монополюно.

Площади санитарно-гигиенических помещений варьируются: установлено их увеличение с повышением класса квартиры и дифференцирование в зависимости от потребительского уровня жилья (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Характерные площади санитарно-гигиенических помещений квартир высокого и среднего потребительских уровней

Класс комфортности	Наименование помещения	Площадь помещений, м <sup>2</sup>	
		В квартирах высокого потребительского уровня	В квартирах среднего потребительского уровня
1 класс	Совмещенный санузел	5...8,5	4...6
2 класс	Уборная	3...6	3...4
	Совмещенный санузел	6...12,5	5...7
3 класс	Уборная	2,5...5	2...4,5
	Совмещенный санузел	5...8	4,5...7
4 класс	Уборная	2,5...5	2...3,6
	Совмещенный санузел при главной спальней	8,5...14	5...7,5
	Совмещенный санузел	6...8,5	4...5
5 класс	Уборная	2,5...5	2...3
	Совмещенный санузел при главной спальней	8,8...17	4...7,5
	Совмещенный санузел	4...7,5	4...7,5

**Спальные помещения.** Зафиксировано, что площади спальных возрастают с увеличением их общего числа (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Характерные площади спальных комнат в квартирах высокого и среднего потребительских уровней

Количество спальных комнат	Наименование помещения	Площадь помещений, м <sup>2</sup>	
		В квартирах высокого потребительского уровня	В квартирах среднего потребительского уровня
Студия	Общее помещение в том числе с функцией спальней	нет	28...32
1 спальная	Спальная	17...23	17...19
2 спальные	Главная спальная	17...25	16...21
	Спальная	15...22	14...17
3 спальные	Главная спальная	21...31	17...23
	Спальная	18...25	14...19
4 спальные	Главная спальная	24...32	20...30
	Спальная	16...24	14...19

**Общественные помещения.** Общее пространство кухни-гостиной-столовой является наиболее характерным для жилья высокого (48 %) и среднего (62 %) уровней комфортности. Выделение помещений гостиной и кухни-столовой чуть менее харак-

терно для элитных квартир (43 %) и не дотягивает даже до четверти от числа рассмотренных в среднем классе. Доля квартир с отдельными помещениями составляет менее десятой части от числа престижных квартир и исчезающе мала (3 %) в бизнес-классе. Зафиксирован характерный диапазон площадей квартир в различных вариантах решения общественной зоны (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Характерные площади помещений общественной зоны  
в квартирах высокого и среднего потребительских уровней

Наименование помещений гостевой зоны (или функциональных зон)	Площади помещений (функциональных зон), м <sup>2</sup>	
	В квартирах высокого потребительского уровня	В квартирах среднего потребительского уровня
Кухня (зона кухни в помещении кухни-столовой)	18...25	11...19
Столовая (зона столовой в помещении кухни-столовой)	23...30	16...19
Гостиная	40...90 и более*	16...25
Единое пространство кухни-гостиной-столовой в однокомнатных квартирах	17...22	10...17
Единое пространство кухни-гостиной-столовой в двух- и более комнатных квартирах	30...70 100...220 и более*	11...19

\* – приведенный диапазон справедлив в 72 % проанализированных случаев. Оставшиеся квартиры обладают широчайшим разбросом площадей, индивидуальным для каждой из них.

Помещения для хобби встречаются единично только в квартирах высокого потребительского уровня, их зафиксированный диапазон составляет 15...25 м<sup>2</sup>.

**Вспомогательные помещения.** Подсобные помещения в элитном жилье относительно неразвиты: если гардеробные фиксируются в 43 % случаев, то повторяемость прачечных (13 %) и кладовых (10 %) весьма низкая. В бизнес-классе гардеробные отсутствуют лишь в 10 % случаев, кладовые встречаются единично. Дифференцирование диапазона площади гардеробных помещений в зависимости от размещения в квартире представлен в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Характерные площади гардеробных помещений.

Расположение гардеробных помещений	Площади гардеробных помещений, м <sup>2</sup>	
	В квартирах высокого потребительского уровня	В квартирах среднего потребительского уровня
Гостевой гардероб при входе	3...6,5	2,9...3,8
Гардероб при главной спальней	5...10	3,5...5,7
Гардеробные при спальнях	4...8	нет

**Помещения прислуги.** Помещения прислуги встречаются относительно редко в элитных квартирах. Они включают в себя помещение прислуги (6,7-10,5 м<sup>2</sup>) с совмещенным санузлом при нем (4,1-6,2 м<sup>2</sup>). В трети случаев предусматривается кладовая при комнате прислуги.

**Летние помещения.** Среди престижных квартир почти половина оборудована балконами, менее значительна доля лоджий (16 %) и приквартирных террас (12 %). В

среднем потребительском уровне характерны балконы (15 %) и лоджии (39 %), террасы встречаются единично.

### Заключение

Установлено, что для квартир с наиболее эстетичными панорамными видами в здании характерно (для всех классов):

- наибольшая площадь и комнатность ;
- увеличенная площадь видовых помещений ;
- парадные и отдельные помещения спальной зоны решаются как видовые.

Зафиксированы пять классов комфортности квартир в зависимости от обеспеченности санитарно-гигиеническими помещениями. Наиболее характерными решениями являются:

- для элитных квартир – количество совмещенных санузлов соответствует числу спален, предусматривается гостевая уборная. Менее распространены планировки с одним совмещенным санузлом при спальнях и гостевой уборной;
- для квартир среднего уровня комфорта характерно обслуживание всех спален одним совмещенным санузлом, для гостей предусматривается уборная. Небольшие квартиры могут обслуживаться одним совмещенным санузлом.

Автору не удалось зафиксировать четкую границу между жильем высокого и среднего потребительских уровней. Сформулированы наиболее характерные отличия элитного сегмента от квартир бизнес-класса :

- более эстетичные видовые характеристики ;
- увеличенная площадь помещений;
- повышенный уровень обеспеченности санитарно-гигиеническими помещениями.

### Список литературы

1. Knight, Frank Исследования рынка – 2015 / Frank Knight. – URL: <http://www.knightfrank.ru/research/results.aspx?typeid=research&view=grid> (дата обращения 13.04. 2015).
2. Асаул, А.Н. Экономика недвижимости / А.Н. Асаул. – 3-е изд. Стандарт третьего поколения. – СПб.: Питер, 2012.
3. Кайдалова, Е.В. Архитектурное формирование коммерческих жилых домов в историческом центре города (на примере г. Нижнего Новгорода): автореф. дис... канд. арх. / Е.В. Кайдалова. – Н.Новгород, 2005.
4. Кияненко, К.В. Введение в проблематику современного рыночного жилища: учебное пособие / К.В. Кияненко. – Вологда: ВоГТУ, 2002. – 159 с.
5. Калинина, А. Рынок элитного жилья – 2014 / А. Калинина. – URL: [asteragroup.ru/download/files/astera-obzor-elitnoi-zhiloi-nedvizhimosti-1-e-polugodie-2014\\_sankt-peterburg.pdf](http://asteragroup.ru/download/files/astera-obzor-elitnoi-zhiloi-nedvizhimosti-1-e-polugodie-2014_sankt-peterburg.pdf) (дата обращения 13.04. 2015).
6. Кукса, М.П. Тенденции развития первичного рынка элитного жилья (на примере Санкт-Петербурга): автореф. дис...канд. экон. наук / М.П. Кукса. – СПб., 2006.
7. Лавров, Л.П. Живут же люди / Л.П. Лавров, Д.С. Ковалев // Капиталь. – 2013. – №2. – С.48–57.
8. Шамаева, Т.В. Функционально-планировочные решения квартир повышенного комфорта в коммерческих многоквартирных жилых домах. (на примере г.Москвы): автореф. дис... канд. арх. / Т.В. Шамаева.– М., 2007.
9. Халезов, А.С. Оценка эффективности инвестирования строительных проектов элитного жилья. (на примере г.Москвы): автореф. дис... канд. экон. наук / А.С. Халезов. – М., 2007. – 23 с.

### References

1. Knight Frank Market research – 2015 / Frank Knight. – URL: <http://www.knightfrank.ru/research/results.aspx?typeid=research&view=grid>

2. Asaul, A.N. Real estate economy / A.N. Asaul. – 3rd prod. Standard of the third generation. – Saint-Petersburg: Piter, 2012.
3. Kaidalova, E.V. Architectonic formation of commercial residential buildings in the historic center of the city (for example, Nizhny Novgorod). Extended abstract of PhD dissertation (Architecture) / E.V. Kaidalova. – N.Novgorod, 2005. – 24 p.
4. Kiyanenکو, K.V. Introducing the modern market dwellings / K.V. Kiyanenکو. – Vologda: VoGTU, 2002. – 159 p.
5. Kalinina, A. Market of luxury housing – 2014 / A. Kalinina. – URL: [asteragroup.ru/download/files/astera-obzor-ELITNOI-zhiloi-nedvizhimosti-1-e-polugodie-2014\\_sankt-peterburg.pdf](http://asteragroup.ru/download/files/astera-obzor-ELITNOI-zhiloi-nedvizhimosti-1-e-polugodie-2014_sankt-peterburg.pdf)
6. Kuksa M.P. Trends in the development of the primary market of luxury housing. (for example, St. Petersburg). Extended abstract of PhD dissertation (Economy) / M.P. Kuksa. – Saint-Petersburg, 2006.
7. Lavrov, L.P. Houses and apartments: Life elites / L.P. Lavrov, D.S. Kovalev // Kapitел'. – 2013. – No 2. – P. 48–57.
8. Shamaeva, T.V. Functional-plan apartments increased comfort in commercial apartment buildings. (on the example of Moscow): extended abstract of PhD dissertation (Architecture) / T.V. Shamaeva. – M., 2007. – 26 p.
9. Khalezov, A.S. Evaluating the effectiveness of investment projects of construction of luxury housing. (on the example of Moscow) abstract of PhD dissertation (Economy) / A.S. Khalezov. – M., 2007. – 23 p.

Московский архитектурный институт

Россия, 107031, Москва,  
ул. Рождественка, д. 11  
тел.: 8 (495) 625-50-82

**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.: 8 (495) 625-50-82

**Borisov Sergey Vladimirovich**,  
Candidate of Architecture, Associate Professor  
of the department @Fundamentals of  
Architectural Design@  
E-mail: borisov-sv@inbox.ru

## О ВЛИЯНИИ КОЛОКОЛЬНИ НА ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННУЮ КОМПОЗИЦИЮ ПРАВОСЛАВНОГО ХРАМА

С.В. Борисов

Представлены результаты анализа наиболее распространенных приемов компоновки храма и колокольни. Отмечено, что колокольня является основным элементом, определяющим компактную или многокомпонентную структуру храма. Предложены не применявшиеся ранее варианты расположения надстроенной над храмом колокольни. Статья проиллюстрирована авторскими проектами православных храмов.

*Ключевые слова: архитектура, православие, храм, колокольня, проектирование, объемно-пространственная композиция*

## THE BELL TOWER AS AN ELEMENT OF AN ORTHODOX CHURCH, INFLUENCING ITS VOLUME AND SPATIAL

S.V. Borisov

In this article we analyzed the most common methods of linking the church and bell tower. We note that the bell tower is a key element in determining the compact or multi-component structure of the temple. We offer innovative arrangements of belfry, built over the temple. The article is illustrated by the author's projects of Orthodox churches.

*Keywords: architecture, orthodoxy, temple church bell tower, designing, volume and spatial composition*

**Введение.** В православном храмовом зодчестве изначально присутствует заложенное оптимальное соотношение свободы композиционно-пространственных решений [1] и следования канонической традиции [2]. Уникальная вариантность достигается не только за счет объемной формы собственно храма и числа его глав, но и при различном составе и способах компоновки структурных частей – приделов, трапезной, папертей и, конечно, колокольни или звонницы. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные в настоящее время приемы компоновки храма и колокольни, оценим их целесообразность с точки зрения удобства доступа и эксплуатации, функциональной связи с основными помещениями, соответствия градостроительным задачам.

### **Колокольни, пристроенные к храму**

**Колокольни, подчеркивающие симметрию композиционного решения храма.** Колокольня, или звонница, подчеркивающая одну из осей симметрии храма, в большинстве своем ось восток-запад, пристраивается к притвору, трапезной, иногда непосредственно к основному объему. Упомянув звонницу, мы в настоящее время говорим о колокольне, своими формами ее повторяющей – прямоугольной в плане, с ритмически повторяющимися аркадами в ярусе звона, где расположена звонарская площадка. Колокольня, имитирующая звонницу, как правило, пространственно подчинена основному объему храма, выявляя его иерархическое главенство. Для отече-

ственной традиции характерно возведение единственной колокольни, иногда в крупных постройках, структурные элементы которых возведены разновременно, имеются две колокольни (колокольня и звонница) при главном храме и приделе, соответствующие различным этапам строительства. Однако они не всегда равнозначны по своим объемно-пространственным решениям, одна из них выступает как доминанта.

Наличие двух равнозначных колоколен, пристроенных по странам света от главного входа в храм с западной стороны, ассоциируется с характерными церковными постройками западных конфессий. В России подобные храмы достаточно редки и относятся к западноевропейским направлениям архитектуры «синодального периода» XVIII–XIX веков. Однако наличие двух башен, акцентирующих главный вход в христианский храм, имеет древние традиции, возникшие до разделения восточной и западной Церквей, и является отличительной чертой «башенных» базилик IV–V веков в Сирии.

В наиболее традиционной для России объемно-планировочной схеме храма «кораблем» колокольня, трактуемая как «мачта корабля спасения», пристраивается с запада к трапезной, в объем которой, как правило, включается придел (приделы). Трапезная блокируется, в свою очередь, с основным храмом вдоль планировочной оси симметрии восток-запад. Указанная схема компоновки, базиликальная при объединении трапезной и основного храма, исторически возникла при отдельной схеме эксплуатации трапезной – теплого, невысокого отапливаемого храма и основного холодного объема. В настоящее время, храм «кораблем», при формальном копировании исторических прообразов, вызывает многочисленные нарекания, связанные с неудобством расположения и перемещения прихожан во время богослужения [3, 4]. Трапезная в современных храмах «кораблем», более похожая на притвор по планировочным пропорциям, обыкновенно не включает в свой объем приделы и приравнивается по ширине к четверику или делается более узкой (рис. 1).

**Колокольни, пристроенные к храму асимметрично.** Храмы «кораблем» имеют четко выраженную ось симметрии, что предполагает соответствующую градостроительную ситуацию. Иными словами, ось симметрии восток-запад должна продолжаться главным входом на территорию, перспективой поселковой или городской улицы, в соответствии с особенностями ландшафта. Все структурные элементы, расположенные вдоль планировочной оси, должны быть обозреваемы с различных видовых точек, а не «накладываться» зрительно друг на друга при единственно возможном подходе с запада или с востока. Храмы «кораблем», располагающиеся на специально предназначенных для них наилучших земельных участках, исторически являются центрами формирования окружающей застройки, находятся в градостроительной ситуации, соответствующей их композиционному решению.

Иная ситуация складывается в настоящее время: значительная плотность застройки, сформировавшейся без учета предполагаемых мест возведения храмов, в особенности вблизи транспортных магистралей, препятствует выделению участков, по своим характеристикам отвечающим условиям строительства [5]. В результате, для возведения храмов зачастую отводятся территории сложной неправильной формы, с ограниченными видовыми точками, основными пешеходными и транспортными подходами, расположенными с противоположных от западного фасада сторон. Одним из решений указанных противоречий является асимметричная компоновка структурных элементов храма, в том числе доминирующего – колокольни. Основной задачей проектирования является создание уравновешенной асимметричной композиции храма, отвечающей ближним и удаленным видовым точкам, акцентированию подходов от транспортных и пешеходных магистралей (рис. 2). Подобные храмы имеют длительную традицию и многочисленные прототипы в архитектуре русского средневековья.

Храмы с пристроенными колокольнями в своей основе типологически относятся к приходским церквям, сельским или расположенным в малых городах. Своими сложно сочиненными объемами, образованными многими структурными элементами, они создают живописные силуэты, прекрасно сочетающиеся с измельченными объемами малоэтажной застройки, сельскими пейзажами. Однако имелись примеры крупных

городских соборов в рамках западноевропейской стилистики «синодального периода» XVIII–XIX веков, или псевдо-византийской архитектуры, «русского» стиля середины XIX столетия, представляющих вариации композиционной схемы «кораблем».

#### **Надстроенные над храмом колокольни**

**Колокольня в центральной главе храма.** Задача по созданию компактного монументального храма, при необходимости размещения в нем колоколов, ведь колокольный звон – неперемнная составляющая православного богослужения [6], решается надстройкой колокольни над основным объемом. Данный тип храма традиционен для России и именуется – «под звоном» или «иже под колоколы». Храмы «под звоном» с колокольной над центральным объемом, размещенной в единственной «главе», строились и во время «синодального периода» XVIII–XIX веков [7], имелись они и в «русском» академическом стиле, синтезировавшем классицистические объемно-планировочные композиции и архитектуру русского средневековья.

При композиционной целостности данного расположения колокольни храм лишается единственной световой главы, что негативно сказывается на его интерьерах. Учитывая современные железобетонные конструкции, позволяющие без опор перекрывать значительные пространства, представляется возможным разместить колокольню в широком круговом обходе вокруг центральной световой главы. Доступ в нее будет через чердачные помещения над сводами храма по сегментной в плане лестнице, расположенной с восточной стороны главы. Проход в чердачные помещения, служащие коммуникационным распределителем и дополнительным тепловым буфером – по междуэтажным лестницам вблизи западного притвора. Предложенное размещение колокольни позволит сохранить центральную световую главу – единственную или дополненную четырьмя малыми (рис. 3, а).

**Колокольни в малых главах храма.** Работая в рамках классицистической архитектуры, В.П. Стасов в 1829 году разместил колокольни в четырех малых главах пятиглавого Спасо-Преображенского собора Санкт-Петербурга – данное решение, применявшееся впоследствии в крупнейших храмах России XIX века, успешно реализуется и в настоящее время. Данная объемно-планировочная композиция, объективно выражающая конструктивную основу четырехстолпного храма, образует гармоничное и целостное решение интерьеров и сводов [8] с центральной световой главой.

**Колокольни, надстроенные над храмом при расположении малых глав по странам света.** В рассмотренных нами храмах малые главы расположены по диагоналям от центральной, занимая угловые ячейки крестово-купольной конструктивной схемы (бесстолпного перекрытия). Иные решения колоколен образуются при размещении малых глав по странам света, чему находят прототипы в купольных раннехристианских базиликах, архитектуре «нарышкинского» барокко и ряде храмов «строгановской» школы рубежа XVII–XVIII веков.

Указанное расположение малых глав, возможное как при бесстолпном перекрытии, так и в случае наличия промежуточных опор, освобождает угловые ячейки центрального четверика для устройства колоколен. Четыре колокольни связываются круговым обходом по чердачному помещению с доступом в него по общим междуэтажным лестницам. Колокольни образуют четыре малые главы с купольными покрытиями (рис. 3, б) или решаются в виде кольцевого постамента для основного пятиглавия (рис. 4, а). Храмы с размещением двух или четырех надстроенных колоколен предполагают одновременную работу ансамбля звонарей (современные способы управления колоколами позволяют действовать в двух колокольнях единственному звонарю). В любом случае, при формировании архитектурного решения храма «под звоном» с несколькими колокольнями следует принимать во внимание необходимость в нескольких звонарях, что ближе к статусу крупной соборной постройки, а не рядового приходского храма.

Надстроенными над храмом уместно считать звонницы, возведенные над западным фасадом. Пристроено-надстроенная колокольня-звонница возможна в крупном храме соборного типа, сохраняющем компактность своего лаконичного объема и световые главы (рис. 4, б).



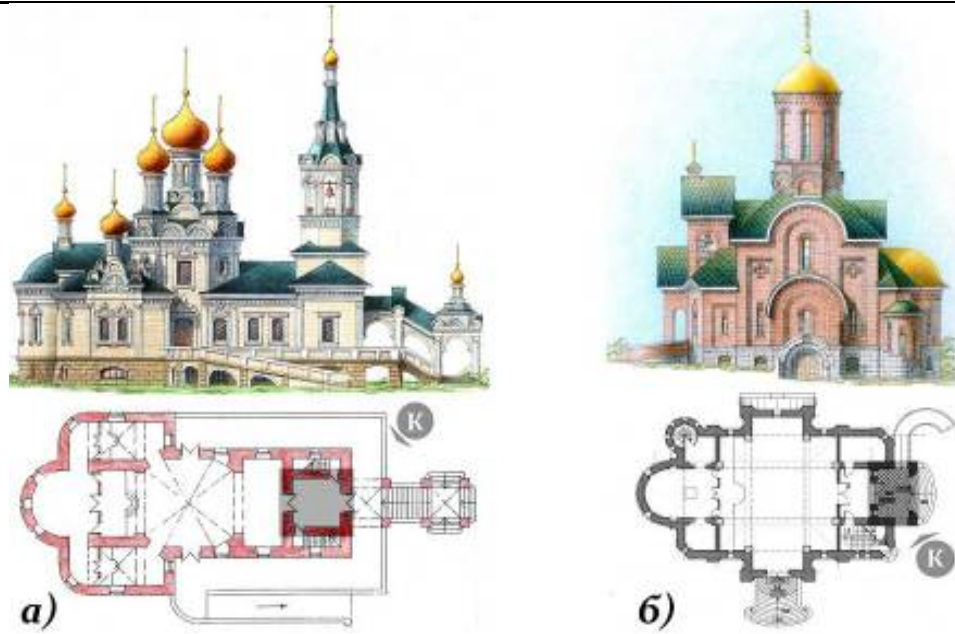


Рис. 1. Пристроенные колокольни в современных храмах (проекты автора): К – колокольня: а – храм Александра Невского, Московская обл., Истринский р-н; б – храм Георгия Победоносца, Украина, Артемовский р-н

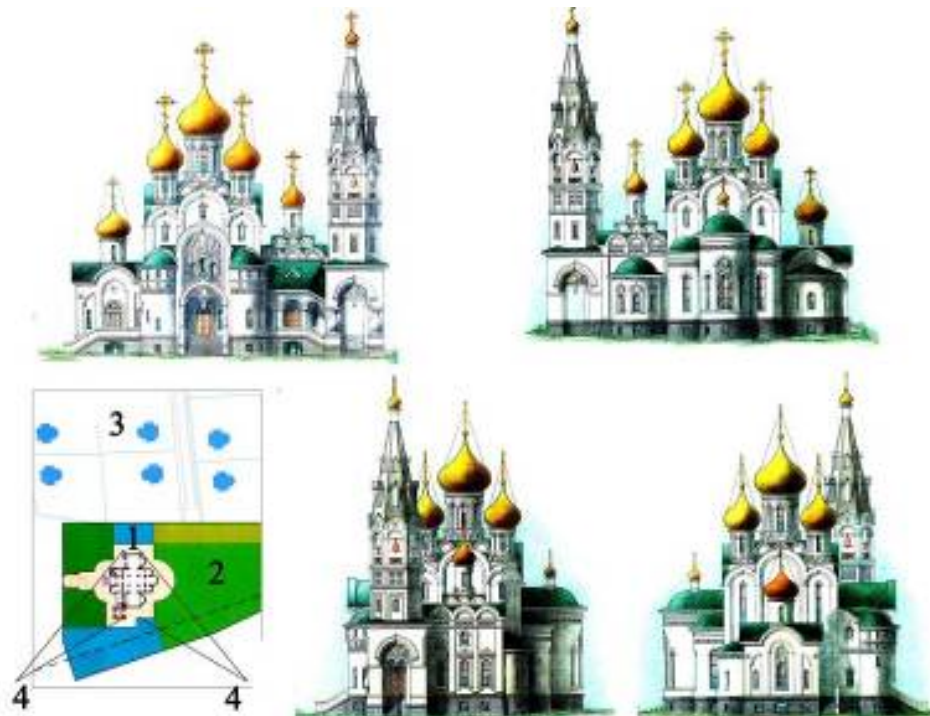


Рис. 2. Построение композиционного решения храма с асимметрично пристроенной колокольней: храм Александра Невского, Московская обл., Истринский р-н (проект автора): 1 – храм; 2 – храмовый участок; 3 – жилые дома; 4 – наиболее значимые видовые точки

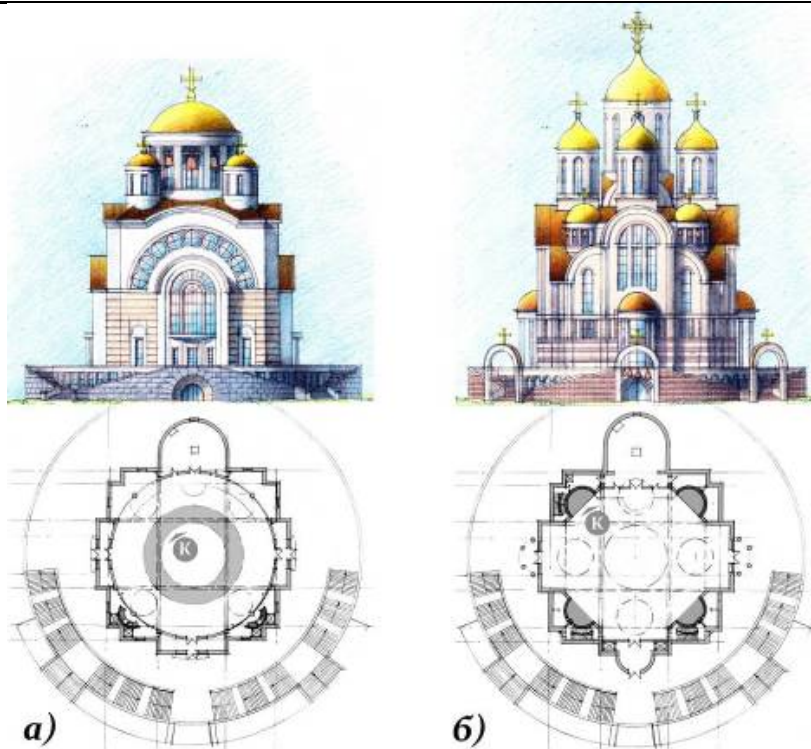


Рис. 3. Храм Архангела Михаила, Зеленоград (проект автора)  
 (переработка проекта арх. А.И. Дорониной): 1 – колокольня:  
 а – единственная колокольня над основным объемом;  
 б – четыре колокольни в основании пятиглавия

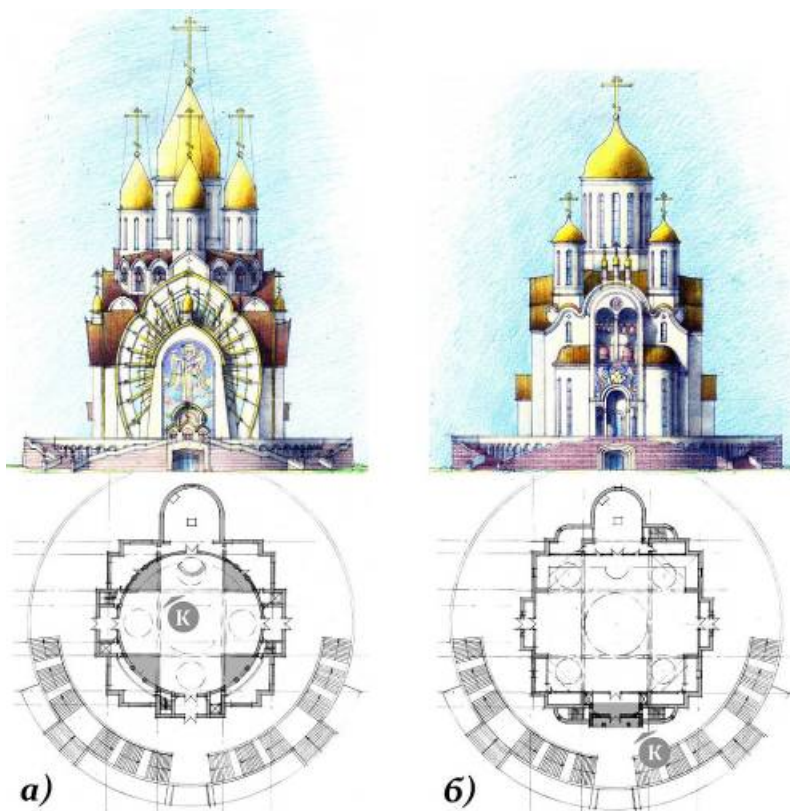


Рис. 4. Храм Архангела Михаила, Зеленоград (проект автора,  
 переработка проекта арх. А.И. Дорониной): К – колокольня:  
 а – колокольни, образующие кольцевой постамент;  
 б – колокольня-звонница, включенная в объем храма

**Заключение.** Завершив обзор основных приемов размещения колоколен при православных храмах, не исчерпывающих весь спектр архитектурно-планировочных решений, отметим основные из них, включая авторские предложения: колокольни, пристроенные к храму, подчеркивающие симметрию композиционного решения, или поставленные асимметрично; надстроенные над храмом колокольни (в центральной главе храма, в двух или четырех малых главах, над четырьмя угловыми планировочными ячейками при постановке малых глав по странам света); колокольня-звонница, включенная в компактный объем храма.

Не рассмотренными остались отдельно стоящие колокольни (звонницы) или связанные с храмом крытыми или открытыми переходами, что позволяет трактовать их в качестве самостоятельных сооружений. Отметим уместность любого из традиционных приемов размещения колокольни при храме, однако при осознанном выборе решений следует внимательно отнестись к планировочным особенностям участка, предполагаемому набору и функциональной структуре помещений храма, его статусу.

#### Список литературы

1. Илларион (Троицкий), сщмч. Краеугольный камень Церкви / Илларион (Троицкий). – URL: <http://pravbeseda.ru>.
2. Вагнер, Г.К. Канон и стиль в древнерусском искусстве / Г.К. Вагнер. – М.: Искусство, 1987. – 286 с.
3. Борисов, С.В. О критериях оценки объемной композиции православных храмов / С.В. Борисов // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2(19). – С. 169–177.
4. 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.
5. Сапрыкина, Н.А. Особенности формирования среды обитания в контексте динамической адаптации архитектурного пространства / Н.А. Сапрыкина // Приволжский научный вестник. – 2015. – №1(41). – С. 93–97.
6. Храм, обряды, богослужения / Православие и современность. Информационный портал Саратовской епархии РПЦ. – URL: <http://lib.eparhia-saratov.ru>.
7. Борисов, С.В. Европейская стилистика XVIII–XIX веков в современном российском храмостроении / С.В. Борисов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – №2. – С. 38–52.
8. Борисов, С.В. Методика поиска аналогов при проектировании иконостасов православных храмов / С.В. Борисов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – №3(98). – С. 124–130.

#### References

1. Illarion (Troitsky). The cornerstone of the Church / Illarion (Troitsky). – URL: <http://pravbeseda.ru>.
2. Wagner, G.K. Canon and style of Old Russian art / G.K. Wagner. – M.: Art, 1987. – 286 p.
3. Borisov, S.V. On criteria for evaluating the volumetric composition Orthodox churches / S.V. Borisov // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2(19). – P. 169–177.
4. Borisov, S.V. Traditional planning solutions Orthodox parish churches: the relevance of modern applications / S.V. Borisov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3 (17). – P. 168–173.
5. Saprykina, N.A. Features of formation living environment in the context of a dynamic adaptation the architectural space / N.A. Saprykina. // Volga Scientific Herald. – 2015. – №1 (41). – P. 93–97.
6. Temple, rituals, liturgy. Orthodoxy and modernity // Information portal of the Saratov diocese of the Russian Orthodox Church. – Available at: <http://lib.eparhia-saratov.ru>.
7. Borisov, S.V. The European stylistics XVIII–XIX centuries in the modern Russian church construction / S.V. Borisov // Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Building. – 2014. – №2. – P. 38–52.
8. Borisov, S.V. Technique search of analogues in the design iconostases of Orthodox churches / S.V. Borisov // Vestnik of the Irkutsk State Technical University. – 2015. – №3(98). – P. 124–130.

---

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 332.14

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

**Учаева Татьяна Владимировна**,  
кандидат экономических наук  
доцент кафедры «Экономика, организация  
и управление производством»  
E-mail: uchaevatv@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

**Uchaeva Tatiana Vladimirovna**,  
Candidate of Economics, Associate Professor  
of the department «Economics, Organization  
and Management»  
E-mail: uchaevatv@mail.ru

### ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ОКРАШИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Т.В. Учаева

Приведены сведения о применении индексов воспроизводимости для эффективной свертки информации о качестве процесса окрашивания строительных изделий и конструкций краской ПФ-115. Показано, что потери, связанные с низким качеством продукции, минимальны, если значение показателя индекса воспроизводимости более 1,33. Приведены значения дополнительных финансовых затрат на исправления дефектной окрашенной поверхности строительных конструкций.

*Ключевые слова: качество процесса; индексы воспроизводимости процесса; финансовые потери от брака; уровень дефектности; окраска*

### ECONOMIC EVALUATION THE QUALITY OF DYEING BUILDING PRODUCTS AND DESIGNS

T.V. Uchaeva

Information on the use of indexes reproducibility for efficient convolution of information on the quality coloring of construction products by paint PF-115 is given. It is shown that the losses associated with poor quality products are minimal, if the value of the index of reproducibility is more than 1,33. The values of the additional financial costs for impriving the defect of the painted surface for the Penza region are given.

*Keywords: quality of process; process reproducibility indices; financial losses from defects; defect rate; coloring*

Для строительства и поддержания зданий и сооружений в рабочем состоянии необходимо большое количество лакокрасочных составов. Растущая конкуренция на рынке отделочных материалов, повышающиеся запросы потребителей требуют от производителей наличия высококачественных окрашенных поверхностей. Однако практика производства отделочных работ показывает, что зачастую наблюдается низкое качество отделки при высоком качестве лакокрасочных материалов, что

приводит к преждевременному незапланированному ремонту и дополнительным затратам.

Качество лакокрасочных покрытий формируется в процессе производства малярных работ. В связи с этим возникает вопрос об оценке качества производственного процесса с точки зрения получения качественного продукта.

Для эффективной свертки информации о процессе применяются индексы воспроизводимости, которые определяют, имеет ли процесс достаточно низкую изменчивость и удовлетворяет допускам процесса, или есть проблема настройки [1].

Для оценки потенциала работоспособности процесса применяют такой показатель, как индекс воспроизводимости  $C_p$ , который рассчитывают по формуле

$$C_p = \frac{\text{ВД} - \text{НД}}{6\sigma}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение; ВД и НД – верхний и нижний допуски на показатели качества.

При отклонении среднего значения процесса  $\bar{y}$  от середины  $m$  между границами допуска применяют откорректированный индекс  $C_{pk}$ :

$$C_{pk} = C_p(1 - k);$$

$$k = \frac{2|\bar{y} - m|}{\text{ВД} + \text{НД}}. \quad (2)$$

Процесс называют воспроизводимым и невоспроизводимым в зависимости от того, превосходит ли показатель воспроизводимости единицу или нет. Следовательно, если показатель воспроизводимости процесса  $C_{pk}$  больше единицы, то это может гарантировать срок службы в установленных пределах.

Японский специалист по статистике Тагути предложил оценивать производимые изделия с позиции стабильности технических характеристик и объединил стоимостные и качественные показатели в так называемую функцию потерь, которая одновременно учитывает потери как со стороны потребителя, так и со стороны производителя [2, 3].

Функция потерь имеет следующий вид:

$$L(y_i) = k(y_i - y_o)^2, \quad (3)$$

где  $L$  – потери для общества (величина, учитывающая потери потребителя или производителя от бракованной продукции);  $k$  – постоянная потеря, определяемая с учетом расходов производителя изделий;  $y$  – значение измеряемой функциональной характеристики;  $y_o$  – целевое значение рассматриваемой характеристики.

Если перейти к обсуждению уровня качества совокупности, состоящей из  $N$  единиц продукции, то дополнительные затраты, которые несет потребитель или изготовитель, могут быть определены по формуле

$$L = kd^2, \quad (4)$$

где  $d^2$  – величина, равная

$$d^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} (y_i - y_o)^2 = \sigma^2 + (\bar{y} - y_o)^2, \quad (5)$$

рассматривается как средний квадрат отклонения характеристики  $y$  от цели, определяющий уровень качества рассматриваемой совокупности единиц продукции.

В соответствии с (3) потери определяются двумя источниками вариации: положением среднего  $\bar{y}$  относительно целевого значения  $y_0$  и разбросом значений характеристики вокруг своего среднего  $\bar{y}$ .

Рассмотрим финансовые затраты предприятия, связанные с низким качеством малярных работ, в зависимости от воспроизводимости процесса. В соответствии с (2) потери минимальны, если процесс точно настроен (центрирован), т.е. среднее процесса совпадает с номинальным значением  $y_0$ .

Был проведен анализ качества процесса окрашивания поверхности краской ПФ-115. Качество поверхности лакокрасочного покрытия оценивали показателем ее шероховатости [4]. Для оценки однородности распределения показателей шероховатости по простиранию были рассчитаны статистические показатели: среднее арифметическое  $\bar{y}$ , среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ . Рассмотрено качество окрашенной поверхности, которое характеризуется классом N5. Допуски для класса шероховатости N5 в соответствии с ISO 1302 N5 составляют: НД=0,4 мкм и ВД=16 мкм. Настройка процесса окрашивания строительных изделий и конструкций для класса шероховатости N5 подразумевает целевое значение  $y_0$ , равное 0,4 мкм, а не середину поля допуска, составляющую 8,2 мкм.

В соответствии с данными, приведенными в ТЕР-62 “Малярные работы” (Пензенская область), стоимость ремонтных малярных работ составляет от 573 до 1219,54 руб. (на 100 м<sup>2</sup>) в зависимости от вида красочного состава и технологии производства малярных работ. Предположим, что производитель несет расходы на ремонт окрашенной поверхности вследствие более низкого качества внешнего вида покрытий (увеличение шероховатости на 0,5 мкм). В соответствии с (3) экономическая константа  $k$  будет составлять

$$k = \frac{1219,54}{0,25} = 4878,16 \text{ руб/мкм}^2.$$

Результаты расчетов статистических показателей качества окрашенной поверхности и дополнительных финансовых затрат, связанных с низким качеством отделки, приведены в табл. 1, 2.

Т а б л и ц а 1

Статистические характеристики процесса окрашивания

Способ нанесения	Среднее арифметическое $\bar{y}$ , мкм	Среднеквадратическое отклонение $\sigma$ , мкм	Индекс воспроизводимости $C_{pk}$	Средний квадрат отклонения характеристики $y$ от цели, $d^2$
Кистью	4,34/2,89	1,74/1,8	0,863/0,579	18,490/9,375
Наливом	4,31/5,78	1,97/2,22	0,759/0,883	19,091/33,774
Пневмонанесение	6,97/9,78	3,32/2,5	0,705/1,267	53,966/94,109

Примечание. Над чертой приведены значения для вязкости краски  $\eta=0,001$ Пас, под чертой – для вязкости  $\eta=0,00026$  Пас.

Т а б л и ц а 2

Финансовые потери предприятия в зависимости от воспроизводимости процесса окрашивания

Индекс воспроизводимости $C_{pk}$	0,579	0,705	0,759	0,863	0,883	1,267
Потери $L(y)$ , руб./100 м <sup>2</sup>	45734,2	263258,9	93130,8	90200,1	164756,1	459080,7

Анализ данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует, что повышение индекса воспроизводимости  $C_{pk}$  от 0,579 до 1,267 не коррелирует с показателями дополнительных затрат  $L(y)$ . Так, при значении индекса воспроизводимости  $C_{pk} = 0,579$  потери минимальны и составляют  $L(y) = 45734,2$  руб./100м<sup>2</sup>, в то время как при  $C_{pk} = 1,267$  – 459080,7 руб./100м<sup>2</sup>. Плохая настройка процесса полностью разрушает все потенциальные преимущества улучшения воспроизводимости. Если процесс не настроен на целевое значение  $y_0$ , то нельзя судить об эффективности процесса только по показателю индекса воспроизводимости  $C_{pk}$ , считая, что если  $C_{pk} > 1$ , то процесс эффективен. Необходимо принимать во внимание дополнительные затраты, связанные с потерей качества продукции. Безусловно, чем ближе среднее процесса  $\bar{y}$  к целевому значению  $y_0$  и чем меньше разброс показателей качества  $\sigma$ , тем ниже потери предприятия.

Приведенные выше результаты расчетов убедительно свидетельствуют о важности точной настройки процесса окрашивания строительных изделий и конструкций.

В качестве обобщенного показателя качества производства  $K_{п}$  используют также показатель, равный:

$$K_{п} = \frac{C_{б} + C_{д} + C_{г}}{C_{ф}}, \quad (6)$$

где  $C_{б}$  – стоимость забракованной в процессе производства продукции;  $C_{д}$  – стоимость дефектной продукции, за которую уплачен по рекламации штраф;  $C_{г}$  – стоимость продукции, подвергнутой гарантийному ремонту;  $C_{ф}$  – стоимость фактически реализованной продукции за определенный период.

Предположим, данные на выходе процесса свидетельствуют о конечном объеме выхода качественных окрашенных изделий в размере 98 %, т.е. из 1000 окрашенных изделий 980 изделий окрашено без брака, а 20 изделий забракованы (величина брака составляет 2 %).

Нами проведен экономический расчет дополнительных затрат, вызванных доработкой единиц продукции. Предположим, что изделия имеют размеры 1,5×6 м. В соответствии с ТЕР 81-02-15-2001 по Пензенской области стоимость забракованной продукции  $C_{б}$  или ущерб, вызванный тем, что 20 изделий (площадью 180 м<sup>2</sup>) оказались дефектными, составляет:

$$C_{б} = 3 \cdot K_{индекс} \cdot S = 1830,48 \cdot 4,491 \cdot 1,8 = 14797,24 \text{ руб.},$$

где  $C_{б}$  – ущерб (недополученная выгода), руб.;  $K_{индекс}$  – коэффициент индексации, составляющий 4,491 (с НДС и материалами); 3 – прямые затраты, в том числе оплата труда, материалы, эксплуатация машин;  $S$  – увеличение площади по сравнению со 100 м<sup>2</sup>.

Обобщенный показатель качества производства  $K_{п}$  составляет

$$K_{п} = \frac{C_{б} + C_{д} + C_{г}}{C_{ф}} = \frac{14797,23}{725064,47} = 0,02.$$

Экономические показатели качества работы можно с успехом использовать для оценки качества технологических процессов и их оптимизации.

Допустим, что необходимо окрасить площадь  $N_m$  м<sup>2</sup>. Очевидно, что оценка качества работы  $K_p$  должна проводиться по отклонению фактической стоимости выполненного задания  $Q_{фак}$  от установленных расчетных (нормативных) затрат  $Q_{рас}$  на окраску площади  $N_m$  м<sup>2</sup> в соответствии с требованиями технической документации. При этом:

$$Q_{рас} = N_m C_{рас}, \quad (7)$$

$$Q_{фак} = N_{фак} C_{фак}, \quad (8)$$

где  $N_{фак}$  – количество фактически окрашенной площади, м<sup>2</sup>;  $C_{рас}$ ,  $C_{фак}$  – соответственно расчетная и фактическая себестоимость окраски 1 м<sup>2</sup> по установленному техническому процессу.

Тогда

$$K_p = \frac{Q_{рас}}{Q_{фак}} = \frac{N_m C_{рас}}{N_{фак} C_{фак}}. \quad (9)$$



При отсутствии нарушений технологии окраски вся окрашенная поверхность прошла контроль, фактическая себестоимость отделки соответствует расчетной (нормативной). При этом  $K_p = 1$ .

При наличии на некоторой площади окрашенной поверхности дефектов, обнаруженных при контроле, поверхность забракована и подлежит ремонту. При этом  $N_{\text{фак}} > N_m$ , но  $C_{\text{фак}} = C_{\text{рас}}$ , так как трудоемкость окраски как годной, так и забракованной поверхности одинакова. Тогда из формулы (9) имеем:

$$K_p = \frac{Q_{\text{рас}}}{Q_{\text{фак}}} = \frac{N_m C_{\text{рас}}}{N_{\text{фак}} C_{\text{фак}}} < 1. \quad (10)$$

Так как фактические затраты на окраску возросли на величину потерь от брака, то

$$C_{\text{фак}} > C_{\text{рас}}. \quad (11)$$

Тогда из формулы (10) получим:

$$K_p = \frac{C_{\text{рас}}}{C_{\text{фак}}}. \quad (12)$$

Нами рассчитан коэффициент  $K_p$  для приведенного выше примера:

$$K_p = \frac{C_{\text{рас}}}{C_{\text{фак}}} = \frac{739861,7}{754658,9} = 0,98.$$

Как показал анализ результатов расчетов, выполненных по (6) и (12), показатели  $K_p$  и  $K_n$  фактически характеризуют долю затрат, вызванных дефектной продукцией.

Таким образом, определяя качество производственного процесса как потери вследствие отклонения показателей качества от целевого значения или по соотношению расчетных и фактических затрат на изготовление этой товарной партии, можно оптимизировать процесс окрашивания строительных изделий и конструкций, применяя для этого технологические приемы, организацию процесса и т.д.

#### Список литературы

1. Логанина, В.И. Статистическое управление производством строительных изделий / В.И. Логанина, Б.Б. Хрусталева, Т.В. Учаева // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №1(61). – С.65–67.
2. Логанина, В.И. К вопросу о системе контроля качества на предприятиях стройиндустрии / В.И. Логанина, Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – №1. – С.35–36.
3. Учаева, Т.В. Управление процессом производства на предприятиях промышленности строительных материалов / Т.В. Учаева // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 9. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/09/37725> (дата обращения: 09.09.2014).
4. Логанина, В.И. Повышение качества лакокрасочных покрытий строительных изделий и конструкций: монография / В. И. Логанина, Л.П. Орендликер. – М.: Изд-во «Ассоциация строительных вузов», 2004. – 104 с.

#### References

1. Loganina, V.I. Statistical Office of the Building Products / V.I. Loganina, B.B. Hrustaleva, T.V. Uchaeva // Eastern European Journal of advanced technology. – 2013. – №1 (61). – P.65–67.
2. Loganina, V.I. On the question of quality control in the construction industry enterprises / V.I. Loganina, T.V. Uchaeva // Regional architecture and engineering. – 2010. – №1. – P.35–36.
3. Uchaeva, T.V. Managing the process of production on the building materials industry enterprises / T.V. Uchaeva // Modern scientific research and innovation. – 2014. – № 9. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/09/37725> (the date of circulation: 09.09.2014).
4. Loganina, V.I. Improving the quality of coatings of building products and constructions: monograph / V.I. Loganina, L.P. Orentlikher. – M.: Publishing «Association building universities», 2004. – 104 p.



УДК 67.01.79

*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

**Кучигина Светлана Каюмовна**,  
кандидат филологических наук, директор  
Центра практики студентов и содействия  
трудоустройству выпускников  
E-mail: ku4igina@yandex.ru

**Суханова Татьяна Викторовна**,  
кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Маркетинг  
и экономическая теория»  
E-mail: vika19@sura.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

**Kuchigina Svetlana Kajumovna**,  
Candidate of Filology Sciences, Director of  
the Centre for training of students and  
employment of graduates  
E-mail: ku4igina@yandex.ru

**Sukhanova Tatyana Victorovna**,  
Candidate of Economic Sciences,  
Associate Professor of the department  
«Marketing and economic theory»  
E-mail: vika19@sura.ru

## ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОГО РЫНКА ТРУДА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ (НА ПРИМЕРЕ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ)

С.К. Кучигина, Т.В. Суханова

В последние десятилетия на фоне общих социально-экономических перемен в стране намечается отток молодых специалистов из «периферийных» регионов в экономически более развитые районы. Исходя из этого, был проведен экономический срез ситуации занятости молодежи, а также факторов, влияющих на ее эффективность, в результате чего были сформированы основные аспекты регионально ориентированного рынка труда с учетом ряда взаимосвязанных компонентов. Формирование основ регионально ориентированного рынка труда молодых специалистов в условиях социально-экономических преобразований отражает попытки наладить взаимодействие работодателей и молодых специалистов в системе трудовых отношений с учетом специфики Пензенской области.

*Ключевые слова: молодые специалисты, модель, рынок труда, региональный компонент, факторы, специфика, приоритеты, спрос и предложение на рынке труда*

## THE MAIN ASPECTS OF FORMATION REGIONAL ORIENTED LABOR MARKET OF YOUNG SPECIALISTS (ON THE EXAMPLE OF PENZA REGION)

S.K. Kuchigina, T.V. Sukhanova

In recent decades, we can note an outflow of young specialists from «peripheral» regions by economically developed regions on background of general socio-economic changes in the country. On this basis, the authors have done an economic snapshot of the situation with youth employment, which the resulted in forming of basic aspects of regional based labour market taking into account a number of interrelated components, and factors influencing its effectiveness. Formation basis of regional based labour market of young specialists in the conditions of socio-economic changes reflects the attempts to engage employers and young specialists in the system of labour relations taking into account the specifics of the Penza region.

*Keywords: young professionals, labour market, regional component, factors, specifics, priorities, demand and supply in the labour market*

Сейчас проблема занятости молодых специалистов в основном освещается с точки зрения усиления влияния региональных компонентов на структуру рынка труда. Молодежный рынок труда обладает определенной спецификой, что связано с неустойчивостью спроса и предложения, деформированием профессиональных ориентаций молодых специалистов, проблемами формирования профессиональной мотивации, трудовой адаптации и проч.

Специфика региональных трудовых взаимоотношений образует собственный предмет исследования, порождает специфику формальных и неформальных коммуникаций, формирует «синтетическое» информационное поле, вобравшее в себя социально-экономические и историко-культурные аспекты, характерные исключительно для конкретного региона. Вопросы региональной специфики труда, проблемы становления и развития кадрового потенциала различных территориальных формаций поднимаются в ходе вузовского преподавания, находят свое отражение в тематике научных работ. Так, по данным статистического обследования по проблемам занятости населения, основанным на информации о ситуации на рынке труда Пензенской области на 01.09.2015 года [4], численность экономически активного населения области составила 700,8 тыс. человек; численность занятых в экономике области составила 667,8 тыс. человек; не имели занятия и в соответствии с рекомендациями МОТ квалифицировались как безработные – 33,0 тыс. человек.

Основная часть трудоустроенных работников приходится на промышленный сектор, что свидетельствует об относительном благополучии данного сектора, несмотря на значительный процент высвобождения рабочей силы в связи с кадровой «оптимизацией» (табл. 1). В то же время явный упадок наблюдается в строительной индустрии и сфере финансов, где необходимы кардинальные меры, направленные на повышение привлекательности данных сегментов рынка труда для молодых специалистов.

Т а б л и ц а 1

Структура замещенных рабочих мест по видам экономической деятельности

Виды экономической деятельности	%
Сельское хозяйство	5,7
Промышленное производство (в т.ч. Добыча полезных ископаемых, производство и распределение электроэнергии, газа и воды)	25,0
Строительство	1,8
Оптовая и розничная торговля	5,7
Транспорт и связь	7,0
Финансовая деятельность	3,0
Операции с недвижимым имуществом	6,9
Государственное управление и обеспечение военной безопасности	11,5
Образование	15,7
Здравоохранение и предоставление социальных услуг	13,5
Предоставление прочих коммунальных и персональных услуг	3,8
Другие	0,4

Численность безработных граждан, состоящих на учете в областной службе занятости, увеличилась на 266 чел. (4,9 %), и на 1 сентября 2015 года составила 5723 человека. Уровень регистрируемой за январь – август 2015 года безработицы составляет 0,81 % от численности экономически активного населения области (по данным РФ – 1,3 %, ПФО – 1,0 %).

По сравнению с аналогичным периодом прошлого года число работников, уволенных из организаций, увеличилось в 1,4 раза (за восемь месяцев 2014 года уволено 2706 человек). По сравнению с аналогичным периодом 2014 года контингент безработных изменился: доля уволенных работников увеличилась с 17,0 до 22,2 %, доля уволившихся по собственному желанию сократилась с 35,5 до 34,8 %, число

граждан, обратившихся в службу занятости с целью поиска работы, возросло на 15 % и число трудоустроенных граждан – на 10 %.

На 1 сентября 2015 года в службу занятости области предприятиями и организациями всех форм собственности было заявлено 7952 свободных рабочих места, из которых 5114 ед. составляют рабочие профессии. Таким образом, напряженность на рынке труда составляла 0,87 чел. на одно свободное рабочее место (РФ – 0,9 чел./вакансий, ПФО – 0,7 чел./вакансий). Таким образом, напряженность на рынке труда Пензенской области находится на среднем уровне по сравнению с другими регионами (к примеру, Оренбургская область, Кировская область и др.), однако снижение напряженности остается одной из важнейших задач политики трудоустройства и занятости, и создание регионально ориентированной модели рынка труда молодых специалистов будет способствовать стабилизации ситуации (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Уровень регистрируемой безработицы и напряженность на рынке труда в Приволжском Федеральном округе на 1 сентября 2015 г.

	Уровень регистрируемой безработицы, %	Напряженность на рынке труда, чел. / вакансий
Российская Федерация	1,3	0,9
ПФО	1,0	0,7
Республика Башкортостан	1,3	1,0
Республика Марий Эл	1,1	0,9
Республика Мордовия	0,8	0,5
Республика Татарстан	0,8	0,5
Удмуртская Республика	1,0	0,7
Чувашская Республика	0,7	0,4
Кировская область	1,4	1,2
Нижегородская область	0,6	0,5
Оренбургская область	1,4	1,4
Пензенская область	0,8	0,9
Пермский край	1,8	1,5
Самарская область	1,0	0,5
Саратовская область	1,1	0,6
Ульяновская область	0,6	0,5

Молодежный рынок труда как сегмент общерегионального рынка проецирует тот же спектр проблем, который характерен для регионального формата. Целостная система региональных рынков труда, таким образом, определяется:

– социально-экономическим фактором, выявляющим характер социально-экономического развития региональных рынков труда, сферы влияния национально-региональной системы трудовых отношений на формирование компетенций молодого специалиста, а также системы партнерства в системе рынков труда, взаимодействия семьи, государства и системы образования в процессе формирования квалифицированных кадров;

– институциональным фактором, отражающим степень взаимодействия и взаимовлияния федеральной структуры и системы трудовых отношений региональных рынков труда;

– ситуационным фактором, влияющим на формирование моделей трудового поведения и стили общения субъектов регионального рынка труда;

– культурно-этническим фактором, демонстрирующим своеобразие структуры региональных рынков труда и определяющим их специфику.

Таким образом, с уверенностью можно утверждать, что создание условий для эффективного функционирования регионально ориентированного молодежного рынка труда будет способствовать разрешению широкого круга социально-экономических

проблем, связанных с формированием конкурентоспособности молодых специалистов в трудовой среде и усилением адаптационного компонента к условиям региона.

### Список литературы

1. Кучигина, С.К. Проблема формирования иерархии ценностей современных выпускников вузов в условиях социально-экономических преобразований / С.К. Кучигина, Г.А. Резник // Наукovedение. – 2014. – №11.
2. Региональный рынок труда в системе рыночных отношений: монография / Г.А. Резник [и др.]: под общ. ред. проф. Г.А. Резник. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 224 с.
3. Резник, Г.А. Инновационно-ориентированный специалист как стратегический ресурс России / Г.А. Резник // Региональная архитектура и строительство. – 2006. – №1.
4. Человеческий капитал: теория и практика управления в социально-экономических системах: монография / под общ. ред. Р.М. Нижегородцева и С.Д. Резника. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 290 с.
5. Центр занятости населения Пензенской области. – URL: [http:// www.czzar.ru](http://www.czzar.ru)

### References

1. Kuchigina, S.K. The problem of formation of the hierarchy of values of modern / S.K. Kuchigina, G.A. Reznik // College graduates in terms of socio-economic transformation Naukovedenie. – 2014. – №11.
2. Regional labor market in system of market relations: monograph / G.A. Reznik [etc.]: edited by prof. G.A. Resnick. – Penza: PGUAS, 2014. – 224 p.
3. Reznik G.A. Innovation-oriented professional as a strategic resource Intrahigh / G.A. Reznik // Regional architecture and engineering. – 2006. – №1.
4. Human capital theory and practice of management in social and economic systems: monograph / under total Ed. R.M. Nizhegorodtseva and S.D. Reznika. – M.: INFRA-M, 2015. – 290 p.
5. Employment Center of the Penza region. – URL: <http:// www.czzar.ru>

УДК 658.3

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

**Резник Семён Давыдович,**  
доктор экономических наук, профессор,  
Заслуженный работник высшей школы  
Российской Федерации, Заслуженный  
деятель науки Российской Федерации,  
директор Института экономики и  
менеджмента, заведующий кафедрой  
«Менеджмент»  
E-mail: disser@bk.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

**Reznik Semyon Davydovich,**  
Doctor of Economics, Professor, Honored  
worker of the higher school of the Russian  
Federation, Honored worker of science of the  
Russian Federation, director of Institute of  
economy and management, head of the  
department «Management»  
E-mail: disser@bk.ru

## РАСПОРЯЖЕНИЕ: КАК СФОРМУЛИРОВАТЬ ЕГО ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЧТОБЫ ПОДЧИНЕННЫЙ МОГ И ХОТЕЛ ЕГО ВЫПОЛНИТЬ

С.Д. Резник

Рассматриваются способы и приемы поведения руководителя, обеспечивающие хорошее понимание, мотивацию и возможность результативного исполнения его поручений.

*Ключевые слова:* руководитель, подчиненный, распоряжение, поручение, этапы выполнения поручения

## ORDER: HOW TO FORMULATE IT SO THAT THE SUBORDINATE COULD AND WANTED TO EXECUTE IT

S.D. Reznik

The methods and techniques of management behavior, ensuring a good understanding, motivation and productivity of the possibility of execution of his orders.

*Keywords:* executive, subordinate, direction, order, order execution stages

К каждому подобрать отмычку.  
В этом искусство управлять людьми.  
*В. Грасиан, испанский моралист*

Многие руководители, особенно те, которые недавно приняли бразды правления, остро сталкиваются с недостаточно эффективным исполнением своих распоряжений. Отсюда неудовлетворенность работой, конфликты с подчиненными, снижение производительности и качества труда.

За последние годы уровень культуры, образования, профессионального мастерства подчиненного персонала стал несравненно более высоким. Но легко ли работать с такими людьми руководителю? На этот вопрос многие менеджеры с многолетним стажем работы с озабоченностью отвечают: работать стало тяжелее. Иные даже утверждают: с нынешней молодежью и вовсе невозможно работать. А причину чаще видят в недостатках трудового воспитания, внешних обстоятельствах.

Полагаю, главная проблема заключается в том, что методы работы руководителя остаются зачастую прежними, консервативными – приказ, порой и начальственный окрик, административно-командный стиль, но не культура управления. Сегодняшний подчиненный не будет любой ценой держаться за место, если его не устраивает

руководитель, методы и стиль его работы. Образованные, культурные люди могут подчиняться только осознанно, а не потому что им приказывают.

Современный подчиненный по уровню интеллекта, образования, профессионального мастерства может и не уступать своему начальнику. Угрозы, претензии, перспективы увольнения пугают таких людей далеко не всегда [1, с.44].

Опытный специалист, уверенный в своей профессиональной состоятельности, в случае конфликта может уйти работать в другую фирму, на другое предприятие. Ведь хорошие специалисты всегда и всюду будут нужны. Поэтому современные менеджеры заинтересованы в профессиональном, бесконфликтном, основанном на взаимопонимании руководстве.

Отдача распоряжений (приказов, поручений) – основная форма отношений в системе управления персоналом, в системе непосредственного руководства подчиненными со стороны их руководителя, менеджера.

В отличие от жесткого приказа поручение регламентирует содержание задания, оставляя подчиненным свободу выбора способов его исполнения [2, с.1].

### **1. Почему распоряжения руководителя плохо исполняются?**

Можно назвать несколько достаточно очевидных и часто встречающихся причин плохого исполнения поручений менеджеров [1, с.45].

Самая распространенная, банальная – непонимание подчиненными сути даваемых им поручений.

Среди других причин можно назвать игнорирование менеджером индивидуальных особенностей работника, его немотивированность, несоответствие сложности задания профессиональным возможностям подчиненного и др.

Сформулируем некоторые условия, соблюдая которые мы сделаем своё распоряжение более весомым, лучше воспринимаемым, имеющим объективно больше шансов на то, чтобы его хорошо, своевременно, ответственно и с желанием выполнили подчиненные.

Первое. **Любое распоряжение должно быть объективно необходимым**, логически вытекать из сложившейся ситуации. А вот желание распорядиться из честолюбивого стремления «власть употребить», показать, кто здесь хозяин, лучше в себе подавлять, ибо это только ослабит авторитет руководителя.

Второе. **Авторитет руководителя может изрядно пошатнуться, если он отдаст распоряжение, не задумываясь, насколько оно выполнимо.**

Заведомо невыполнимое распоряжение убивает интерес людей к работе, лишает ее творческого содержания, не дает возможности реализоваться естественному человеческому желанию проявить себя. Поэтому отдавая распоряжение, не забывайте обеспечить условия и, конечно же, права, необходимые для его выполнения. Не бывает двух одинаковых людей. Возраст, пол, темперамент, здоровье, способности, добросовестность – все личностные качества влияют на мотивацию труда подчиненных и в конечном счете – на качество исполнения поручений.

Следовательно, отдавая поручение, нужно постараться учесть индивидуальные особенности подчиненных. Например, пожилому рабочему будут приятны уважительность, внимание руководителя. Женщины острее реагируют на интонацию. Молодые люди ищут возможности для самовыражения, проявления своих качеств. А невнимательному или забывчивому работнику можно отдать распоряжение и в письменной форме.

Третье. **Плохо, если исполненное распоряжение окажется ниже возможностей работника**, слишком простым, не требующим творчества. В этом случае мотивация труда исполнителя обязательно снизится.

Порой можно услышать от руководителя: ваша задача исполнять, а за свои решения я сам отвечать буду. Вроде бы и верно. Но если бы мы вовремя осознали, к чему может привести следование этой формуле, возможно, и перестраиваться не понадобилось бы. Инициативность и самостоятельность сотрудников, а не только самого руководителя, делает коллектив по-настоящему сильным, способным решать самые сложные задачи. Поэтому вряд ли стоит думать за подчиненных, вникать во все

детали их работы. Если мы рассчитываем на их творческую отдачу, нужно всячески приветствовать самостоятельность и инициативный подход, отмечать даже самый маленький успех и роль в нем исполнителей – наших подчиненных.

Четвертое. **Все старания менеджера добиться хорошего исполнения поручений могут оказаться напрасными**, если подчиненный не понял сути поручения.

И, наконец, пятое. **Не стоит допускать, чтобы кто-то давал подчиненным задания, минуя его руководителя, не согласовав эти поручения с ним.**

## 2. Когда и как нужно «приказывать»

Готовясь дать поручение подчиненному, предварительно важно оценить его компетентность по существу задания, выяснить его профессиональную готовность к такому поручению.

Профессор Ф. Пьюселик [3, с. 1] делит подчиненных по уровням их компетентности на четыре группы:

1-й уровень: подчиненный знает предлагаемую работу плохо, ему предстоит её выполнять впервые.

2-й уровень: подчиненный уже делал эту работу, начинает понимать, как это делать.

3-й уровень: подчиненный делает такую работу хорошо.

4-й уровень: на вашего подчиненного вы можете положиться. Он сделает эту работу хорошо, вовремя и полностью.

**В зависимости от уровней компетентности подчиненного распоряжения менеджера могут иметь свои особенности.**

Подчиненному первого уровня давать задания следует простым языком (без специальной терминологии), с пошаговой инструкцией. И всё. Эффективна работа по эталону (методичке, инструкции) или в паре со специалистом 3-4 уровня. Если подчиненный успешно выполнит задание – похвалить. Задания постепенно усложняют, подчиненный начинает расти.

Подчиненный второго уровня работает ещё неровно, допускает много ошибок, чувствует себя неуверенно. Однако наступает перелом – и это уже член команды. В его лексиконе появляются слова: «мы», «наша команда», «наше дело».

3-й уровень – это уже коллега. Подчиненный начинает со своим руководителем обсуждать задания «на равных», выдвигает свои идеи и предложения. Появляется эффект «1+1=3». Результативность работы подчиненного растет. Такого подчиненного нужно ценить.

Наконец, подчиненный четвертого уровня – почти эксперт. Он разбирается в конкретном вопросе лучше шефа. Поэтому ему даётся только направление работы или запрашивается результат. Управлять им особо не нужно. Это уровень делегирования полномочий. Цель руководителя – вырастить как можно большее число подчиненных такого уровня.

Давайте поставим себя на место подчиненного. Если он добросовестно относится к своей работе, любит ее, то приказной тон руководителя его покоробит, обидит, вызовет внутренний протест. И даже интересное по сути поручение не вызовет энтузиазма. Одно дело сказать:

– Петров! Чтоб эта работа обязательно была сделана к 16.00. Смотрите, не подведите, иначе могут быть неприятности!

Или сделать это по-другому, например:

– Иван Иванович! Только на вас надежда. Постарайтесь к 16.00. Здесь только с вашей головой разобраться можно.

Есть разница?

**Жесткий приказ хорош, даже необходим в чрезвычайных обстоятельствах:** авария, стихийное бедствие, срочность и ответственность задания и пр. Приказной тон в какой-то мере допустим, если поручение входит в прямые обязанности подчиненного. **Если какие-то обязательства систематически повторяются, лучше составить постоянно действующие стандарты, памятки или инструкции.**

Еще раз вернусь к тону, которым отдается распоряжение. Резкий, требовательный тон оскорбляет человека, вызывает желание спорить и возражать еще до того, как работник осознает суть поручения. Всегда лучше доброжелательность, спокойствие, твердая уверенность в разумности поручения. **При любых обстоятельствах нужно быть вежливым, не нарушать этические нормы поведения, щадить достоинство подчиненного.**

От многочисленных распоряжений типа: «Переделать и исправить» можно избавиться, если сделать ставку не на приказы, а на качественное обучение исполнителя, толковое, четкое и понятное объяснение самого задания и подходов к его выполнению. Важно убедиться, что подчиненный отчетливо понял, чего от него ожидает руководитель. Как это лучше сделать? Не стоит спрашивать: все ли понятно. Психологи давно подметили, что на такой вопрос люди, как правило, отвечают: да. Если уж спрашивать, то лучше так: все ли понятно я вам объяснил. Это раскрепощает исполнителя. А вообще говоря, можно не спрашивать, а воспользоваться обратной связью, например, ознакомиться с первым результатом. Как говорится, лучше один раз увидеть...

В каком случае человек выполняет работу с большим желанием? Наверное тогда, когда в этой работе он сам видит практический смысл, пользу. Если же интересы подчиненного игнорируются, шансы на хорошее исполнение поручения явно падают. Поэтому, **давая поручение, важно объяснить исполнителю смысл работы, ее значение для коллектива и, конечно, лично для него.**

Очень важно поддерживать дух состязательности, желание проявить себя, свои способности. Для этого нужно тонко задеть струнку здорового честолюбия, подчеркнуть важность усилий работника и, если хотите, его незаменимость в данном деле. В этом не будет лицемерия, так как вы призываете подчиненного лишь продемонстрировать его искреннее, доброжелательное и уважительное отношение к тем, с кем он вместе работает.

По своему опыту знаю: не укажешь точного срока завершения работы, форму ее представления, и... срыв задания почти гарантирован. Мы часто думаем, что наша эмоциональная просьба или распоряжение, наш личный серьезный настрой сами по себе свидетельствуют о срочности и важности задания. Если исполнитель не спрашивает нас о сроке и форме представления, руководитель должен сам обратить его внимание на эти весьма существенные моменты.

Вместе с тем известно, что подчиненные теряют уважение к нетребовательным руководителям, позволяющим им нарушать принятые порядки или бездельничать. Если мы хоть одному человеку позволим отступить от принятых в организации правил, то и другим позволительно спросить: «А почему и нам нельзя?» Поэтому, **если поручение дано, нужно, не колеблясь, требовать его исполнения или согласовывать с руководителем и персоналом каждый особый случай отступления от этого правила.**

Убедитесь, что сотрудник понял вас правильно [4, с.27]. Здесь важно избежать неконкретности, расплывчатости, двусмысленности в поручаемом задании. Особенно это важно по отношению к новым сотрудникам, которые делают свои первые самостоятельные профессиональные шаги.

Очень важно еще раз обратить внимание на положительное отношение подчиненного к позиции руководителя, его согласие с этой позицией. Ведь можно понимать суть поручения, но не быть с ним согласным. Не нужно доказывать свою правоту. Силой, давлением, окриком здесь действовать нельзя. Нужны такт и уважение к личности подчиненного.

В целом задача подчиненному должна быть поставлена так, чтобы подчиненный хотел бы и смог её выполнить в установленный срок и с хорошим качеством.

Вот примерный алгоритм (шаги) постановки задачи подчиненному [5, с.14; 3, с.1]:

1. Оценка и объяснение ситуации, привлечение внимания подчиненного.
2. Обозначение цели, необходимости задания.
3. Формулировка задания и конкретизация задач по шагам.



4. Объяснение и предоставление подчиненному информационных, финансовых и других ресурсов.

5. Предполагаемые способы контроля исполнения.

6. Мотивация сотрудника позитивными моментами или возможными негативными последствиями.

7. Проверка понимания подчиненными смысла и сущности получаемого задания.

8. Завершение позитивом, первый шаг мотивации (например, уверенность менеджера в хорошем исполнении его поручения).

#### **Сколько же поручений можно дать подчиненному одновременно?**

**Давать одному человеку одновременно несколько поручений – значит рисковать невыполнением каких-то из них.** Поставьте себя на место этого человека. Как вы поступите? Естественно, сначала возьметесь за задание более привлекательное, как правило, самое легкое и, скорее всего, второстепенное. В итоге часто срываются как раз наиболее важные поручения. Поэтому лучше новое поручение дать работнику после выполнения очередного или, в крайнем случае, установить твердые сроки и порядок выполнения этих поручений.

#### **Нельзя самому вместо подчиненного выполнять свои поручения**

Бывает и так, что поручение менеджера вызывает у исполнителя массу вопросов. Но здесь нужно быть внимательным. Отвечая на них, руководитель может порой обнаружить, что выполнил задание сам в ущерб собственным служебным обязанностям. Проанализируйте, почему это произошло: то ли задание вами было сформулировано плохо, то ли подчиненный раскусил ваши слабые стороны и умело пользуется этим. **Помогайте подчиненным, но не делайте сами работу, которую поручили другому.**

Своевременное исполнение поручения может срываться из-за попутных заданий, несанкционированных непосредственным руководителем. В итоге слышим: «Я не выполнил вашего задания, потому что мне дали другое, более важное». Подобные казусы подрывают эффективность управления. Запретить своему начальству давать задания вашим подчиненным мы не можем. Начальство есть начальство. Но в меру своих сил и возможностей уменьшить количество таких ситуаций – вполне возможно.

#### **Резюме: практические советы менеджеру**

Итак, сформулируем основные требования к менеджеру, дающему поручение подчиненному:

- Любое распоряжение должно быть объективно необходимым, соответствовать стратегии организации;
- Не следует отдавать распоряжение, если нет уверенности, что его можно выполнить;
- Перед тем, как дать серьезное поручение, обязательно посоветуйтесь с исполнителем;
- Обеспечьте условия, необходимые для выполнения поручения;
- Давая задание, учитывайте индивидуальные особенности подчиненных;
- Поручения должны развивать у подчиненных самостоятельность и инициативу;
- Поручение лучше воспринимается в форме просьбы, а не приказа;
- Отдавайте распоряжение спокойным, доброжелательным, твердым и уверенным тоном;
- При любых обстоятельствах не забывайте о вежливости, культуре поведения, уважайте достоинство подчиненного;
- Находите время для обучения подчиненных;
- Заинтересуйте подчиненного общественной значимостью задания, непосредственной практической пользой для организации и лично для него;
- Используйте дух состязательности, желание отличиться, проявить свои способности, подчеркните особую роль исполнителя, важность его усилий;
- Не давайте подчиненному одновременно несколько поручений;
- Убедитесь, что подчиненный хорошо представляет себе суть поручения и свои задачи;

- Укажите точный срок завершения работы и форму ее представления;
- Требуйте от подчиненного исполнения порученной ему работы;
- Не делайте работу за подчиненного;
- Не допускайте несанкционированных заданий.

Дав поручение подчиненному, менеджер тем самым возлагает на него ответственность за своевременное и квалифицированное выполнение работы. Но это не уменьшает ответственности самого руководителя за эту работу перед вышестоящим руководством. Если выполнение задания будет сорвано и перед собственным начальником придется держать ответ, не очень прилично прозвучат и без энтузиазма будут восприняты ссылки на нерадивого подчиненного. Поэтому, **прежде чем дать поручение кому-либо, следует хорошо все взвесить, продумать: ведь отвечать перед начальством придётся вам.**

#### Список литературы

1. Сороченко, В. Искусство приказывать. Как управлять подчиненными / В. Сороченко // Бизнес-Форум IT. – 2004. – № 9.
2. Веснин, В.Р. Тактика работы с подчиненными / В.Р. Веснин. – URL://www.elitarium.ru/
3. Пьюселик, Ф. Система управления малой группой на уровне сержантского состава морской пехоты Армии США (1948) / Ф. Пьюселик. – URL:// http://www.indigo-papa.ru.
4. Пономарев, С. Как научиться правильно приказывать / С. Пономарев // Менеджер по персоналу. – 2012. – №12.
5. Гулимова, А. Сказано – сделано, или методика постановки задач / А. Гулимова // Кадровая служба и управление персоналом предприятия. – №9. – 2009.
6. Веснин, В.Р. Как давать распоряжения подчиненным / В.Р. Веснин // Деловой мир. – 2010. – № 11.
7. Пичугин, В. Как давать распоряжения подчиненным, чтобы они всегда выполнялись? Тренинг-центр «Синтон» / В. Пичугин. – URL: // http://www.syntone-kazan.ru.
8. Резник, С.Д. Организационное поведение: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Менеджмент организации» / С.Д. Резник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2009.
9. Резник, С.Д. Дороги к менеджменту: о себе и окружающих меня людях, о времени и событиях / С. Д. Резник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2015.
10. Резник, С.Д. Как строить отношения с подчиненными? / С. Д. Резник // Хозяйство и право. – 1992. – №3. – С.81–89.
11. Резник, С.Д. Организационное поведение: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Менеджмент организации» / С.Д. Резник, И.А. Игошина, О.И. Шестернина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2009.
12. Резник, С.Д. Распоряжение / С. Д. Резник // Эко. – 1990. – №3.

#### References

1. Sorochenko, V. Art to order. How to operate subordinates / V. Sorochenko // Business Forum IT. – 2004.– No. 9.
2. Vesnin, V.R. Tactics of work with подчиненными / V.R. Vesnin. – URL: //www.elitarium.ru/
3. Pyyuselik, F.A control system of small group at the level of non-commissioned officer's structure of marines of Army of the USA (1948) / F.A. Pyyuselik. – URL: //http://www.indigo-papa.ru.
4. Ponomarev, S. How to learn it is correctly to order / S. Ponomarev // HR manager. – 2012. – No. 12.

5. Gulimova, A. No sooner said than done, or technique of statement of tasks / A. Gulimova //HR department and human resource management of the enterprise. – 2009.– No. 9.
6. Vesnin, V.R. How to give orders to subordinates / V.R. Vesnin // Business world. – 2010. – No. 11.
7. Pichugin, V. How to give orders to subordinates that they were always carried out? Training center of «Sinton» / V. Pichugin. – URL: <http://www.syntone-kazan.ru>.
8. Reznik, S.D. Organizational behavior. The textbook for students of the higher educational institutions which are trained in «Management of the organization» / S.D. Reznik. – 2nd prod., reslave. and additional. – M.: INFRA-M, 2009.
9. Reznik, S.D. Roads to management: about itself and the people surrounding me, about time and events / S.D. Reznik. – 2nd prod., reslave. and additional – M.: INFRA-M, 2015.
10. Reznik, S.D. How to build the relations with subordinates? / S.D. Reznik //Economy and right. – 1992. – No. 3. – P. 81–89.
11. Reznik, S.D. Organizational behavior. The manual for students of the higher educational institutions which are trained in «Management of the organization» / S. D. Reznik, I.A. Igoshina, O. I. Shesternina. – 2nd prod., reslave. and additional. – M., 2009.
12. Reznik, S. D. Order / S. D. Reznik // Eko. – 1990. – No. 3.

---

## Указатель статей, опубликованных в 2015 г.

1. **Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Родионов Ю.В., Салмин В.В.** Интенсификация теплообмена в воздушно-воздушном теплообменнике. – №2(23). – С.125–129.
2. **Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Петрунин А.А.** Теоретические основы процесса диспергирования водовоздушной смеси, используемой для флотационной очистки сточных вод. – №3(24). – С.78–82.
3. **Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Петрунин А.А., Ласьков Н.Н.** Лабораторные исследования технологии диспергирования водовоздушной смеси в роторно-кавитационном устройстве. – №3(24). – С.83–88.
4. **Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Полубояринов П.А., Князев В.А.** Новая технология обезвреживания высококонцентрированных медьсодержащих отработанных травильных растворов. – №4(25). – С.102–108.
5. **Андреев С.Ю., Яхкинд М.И., Гарькина И.А., Князев В.А.** Использование технологии электрохимической активации щелочных реагентов для интенсификации работы локальных очистных сооружений. – №1(22). – С.120–124.
6. **Антошкин В.Д.** Эффективные конструктивно-технологические решения сборных сферических куполов. – №3(24). – С.112–121.
7. **Артюшин Д.В., Шумихина В.А.** Экспериментально-аналитические исследования сопротивления каменной кладки сжатию. – №3(24). – С.62–67.
8. **Баканова С.В., Еремкин А.И.** Методика оценки эффективности воздухораспределения и определения воздухообмена в помещениях хранения скоропортящейся продукции. – №2(23). – С.130–135.
9. **Бакушев С.В.** Определение перемещений в тонком стержне под действием собственного веса с учётом геометрически-нелинейных соотношений. – №1(22). – С.105–113.
10. **Береговой А.М., Дерина М.А., Петрянина Л.Н.** Техничко-экономическая эффективность энергосберегающих решений в архитектурно-строительном проектировании. – №2(23). – С.144–148.
11. **Береговой В.А.** Стеновые строительные материалы с наполнителем из опочных горных пород. – №1(22). – С.88–92.
12. **Береговой В.А., Сорокин Д.С.** Стеклокристаллические материалы на основе кремнистых пород. – №1(22). – С.54–57.
13. **Борисов С.В.** О влиянии колокольни на объемно-пространственную композицию православного храма. – №4(25). – С.126–131.
14. **Борисов С.В.** Приходские комплексы как основа сохранения традиционного архитектурного пространства. – №3(24). – С.101–106.
15. **Ватанский В.А., Фриштер Л.Ю.** Сопоставительный анализ методов обработки экспериментальных данных. – №3(24). – С.89–95.
16. **Вдовин В.М., Ишмаева Д.Д.** Напряженное состояние элементов жесткого узла балочной структуры. – №2(23). – С.97–103.
17. **Вилкова Н.Г., Дорчина О.В., Шумкина А.А., Карев М.Н.** Очистка сточной воды от растворенного дизельного топлива. – №2(23). – С.116–119.
18. **Гладких В.А., Хусид Д.Л., Королев Е.В.** Структурообразование сероасфальтобетона: механизм взаимодействия серы с битумом. – №4(25). – С.4–11.
19. **Гусев Н.И., Кочеткова М.В.** Структурообразование пенополимерцементного раствора. – №4(25). – С.60–64.
20. **Гусев Н.И., Кочеткова М.В., Аюпова З.В.** Влагопроницаемость и паропроницаемость полимерцементного раствора для защитно-отделочного покрытия пенобетона. – №2(23). – С.68–71.
21. **Гусев Н.И., Кочеткова М.В., Гончаренко О.А.** Морозостойкость защитно-отделочных покрытий наружных стен из пенобетона. – №3(24). – С.20–23.

22. **Гусев Н.И., Кочеткова М.В., Щеглова А.С.** Водопоглощение пенополимерцементных растворов на основе поливинилацетатной дисперсии и синтетического латекса. – №1(22). – С.82–87.
23. **Гусев Н.И., Чернышова Н.А.** Исследование реологических свойств полимерцементных растворов на основе синтетического латекса. – №4(25). – С.56–59.
24. **Гучкин И.С., Багдоев С.Г., Шишкин С.О., Ласьков Н.Н.** Способ направленного демонтажа кирпичной дымовой трубы. – №4(25). – С.82–87.
25. **Гучкин И.С., Артюшин Д.В., Ласьков Н.Н.** Усиление железобетонных ребристых плит покрытия производственного корпуса. – №4(25). – С.93–97.
26. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Подходы к анализу и синтезу эргатических систем. – №4(25). – С.109–114.
27. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Проектирование системного объекта: моделирование, управление. – №4(25). – С.98–101.
28. **Данилов А.М., Гарькина И.А., Дулатов Р.Л.** Ретроспективная идентификация сложных систем. – №1(22). – С.130–135.
29. **Данилов А.М., Гарькина И.А., Киселев А.А.** Вуз как система. – №3(24). – С.138–142.
30. **Данилов А.М., Гарькина И.А., Киселев А.А.** Моделирование и обработка экспериментальных данных при подготовке магистров и аспирантов. – №3(24). – С.73–77.
31. **Данилов А.М., Гарькина И.А., Пышкина И.С.** Системные модели в материаловедении: некоторые итоги и перспективы использования. – №2(23). – С.15–20.
32. **Данилов А.М., Гарькина И.А., Сорокин Д.С.** Логико-методологические модели при синтезе композиционных материалов. – №1(22). – С.23–27.
33. **Данилов А.М., Гарькина И.А., Сухов Я.И.** Итеративный теоретико-экспериментальный метод построения критериев качества многоцелевых систем. – №2(23). – С.120–124.
34. **Енгоян А.Р., Азатян К.Р.** Пути развития социально доступного жилища в армении на современном этапе. – №1(22). – С.142–147.
35. **Еремкин А.И., Аверкин А.Г., Косов М.Г.** Процессы теплообмена в грунтовом теплообменнике. – №3(24). – С.68–72.
36. **Ерофеев В.Т., Мышкин А.В., Смирнов В.Ф.** Стойкость полимерных композитов на основе полиэфиракрилатной смолы в модельных средах мицелиальных грибов и бактерий. – №1(22). – С.43–48.
37. **Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Полубаров Е.Н.** Оценка структурообразования и прогнозирование прочности геополимерного вяжущего на основе магматических горных пород. – №2(23). – С.45–50.
38. **Жегера К.В., Пышкина И.С., Рыжов А.Д., Живаев А.А.** Методика оценки прочности сцепления растворного слоя на основе сухих строительных смесей. – №2(23). – С.64–67.
39. **Жерновский И.В., Логанина В.И., Кислицина С.Н., Фролов М.В.** Структурообразование известковых композитов в присутствии гидросиликатов и алюмосиликатов кальция. – №4(25). – С.42–47.
40. **Заяц И.С.** Архитектурные теории о взаимодействии зодчества и природы. – №3(24). – С.107–111.
41. **Зернов В.В., Зайцев М.Б., Валякин В.А.** Определение вектора градиента частот собственных колебаний плоских стержневых систем. – №4(25). – С.88–92.
42. **Ибрагимов А.М., Пиляк С.А.** Архитектурное своеобразие деревянного зодчества Костромского региона. – №3(24). – С.131–137.
43. **Калашников В.И., Камбург В.Г., Суздальцев О.В., Бодажков Н.Ю.** Оценка реотехнологических свойств самоуплотняющихся бетонных смесей для бетонов нового поколения. – №2(23). – С.21–26.
44. **Ковалев Д.С.** Квартиры высокого и среднего потребительского уровней в центральных районах Санкт-Петербурга: дифференцирование функционально-планировочных характеристик. – №4(25). – С.120–125.

45. **Комаров В.А., Болдырева О.В., Болдырев С.А.** Прочность сжатой полосы бетона консоли ригеля при статическом нагружении. – №3(24). – С.58–61.
46. **Комаров В.А., Ласьков С.Н., Ласьков Н.Н.** Расчетные модели сжатых полос бетона консольных опор ригелей многоэтажных каркасов. – №3(24). – С.43–48.
47. **Корнюхин А.В., Киселев А.А.** Прочность железобетонных ростверков при действии поперечных сил. – №1(22). – С.114–119.
48. **Коровкин М.О., Ерошкина Н.А., Чамурлиев М.Ю.** Влияние суперпластификатора на измелляемость цемента и снижение его активности при хранении. – №3(24). – С.29–33.
49. **Коровкин М.О., Калашников В.И., Ерошкина Н.А.** Влияние высококальциевой золы-уноса на свойства самоуплотняющегося бетона. – №1(22). – С.49–53.
50. **Кочеткова М.В., Гусев Н.И., Аленкина Е.С.** Атмосферостойкость защитно-отделочных покрытий наружных стен из пенобетона при их переменном увлажнении, высушивании и воздействии высоких температур. – №2(23). – С.61–63.
51. **Кочеткова М.В., Гусев Н.И., Аюпова З.В.** Сложность возведения ограждающих конструкций отапливаемых зданий. – №3(24). – С.55–57.
52. **Кочеткова М.В., Гусев Н.И., Щеглова А.С.** Исследование усадочных и температурных деформаций пенополимерцементных растворов. – №1(22). – С.78–81.
53. **Кочеткова М.В., Щеглова А.С.** Декоративные качества растворов для наружной отделки стен из пенобетона. – №1(22). – С.67–71.
54. **Кочеткова М.В., Щеглова А.С., Фокин Г.А.** Кинетика твердения пенополимерцементного раствора на пористом основании. – №4(25). – С.52–55.
55. **Кошев А.Н.** Некоторые особенности математического моделирования процессов извлечения металлов из растворов электролитов на проточные трехмерные электроды. – №2(23). – С.104–115.
56. **Кузина В.В.** Интерфейсная подсистема информационной системы для анализа и графического описания водных ресурсов региона. – №4(25). – С.115–119.
57. **Кучигина С.К., Суханова Т.В.** Основные аспекты формирования регионально ориентированного рынка труда молодых специалистов (на примере Пензенской области). – №4(25). – С.137–140.
58. **Леснов В.В.** Стойкость в кислой среде матричных и клеевых цементных составов каркасных бетонов, полученных по интенсивной технологии. – №1(22). – С.72–77.
59. **Логанина В.И.** Сухие строительные смеси для реставрации зданий исторической застройки. – №3(24). – С.34–42.
60. **Логанина В.И., Жегера К.В., Болдырев С.А.** Повышение надежности контроля при выполнении отделочных работ. – №3(24). – С.24–28.
61. **Логанина В.И., Жуков А.Н., Пышкина И.С.** Оценка трещиностойкости покрытий на основе сухой строительной смеси с применением синтезированных гидросиликатов. – №2(23). – С.57–60.
62. **Логанина В.И., Пышкина И.С., Толушов С.А., Болдырев С.А.** Оптимизация режима синтеза добавки на основе гидросиликатов для известковых сухих строительных смесей. – №4(25). – С.48–51.
63. **Логанина В.И., Рыжов А.Д.** Реологические свойства известковых сухих строительных смесей с синтезируемой добавкой на основе аморфного алюминия. – №1(22). – С.58–61.
64. **Логанина В.И., Фролов М.В.** Применение золя алюмината кальция в известковых отделочных составах. – №1(22). – С.62–66.
65. **Максимова И.Н., Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Тамбовцева Е.А.** Регрессионные зависимости основных свойств цементного камня при изменении его структуры и возраста. – №2(23). – С.37–44.
66. **Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Полубарова Ю.В.** Методологические аспекты комплексной оценки механического поведения цементных композитов. – №1(22). – С.28–33.

67. **Максимчук Д.Н.** Осесимметрическая контактная задача для двух соосных цилиндрических штампов, которые взаимодействуют с шаром с начальными (остаточными) напряжениями. – №2(23). – С.72–77.
68. **Маштаев О.Г., Киселев Н.Н., Селяев В.П.** Влияние вида наполнителя на теплопроводность вакуумных изоляционных панелей. – №3(24). – С.11–19.
69. **Мурашкин В.Г.** Методика учета роста прочности бетона при прогнозировании ресурса железобетонных конструкций. – №4(25). – С.74–81.
70. **Нежданов К.К., Антонов С.А.** Монолитный фундамент с точным расположением анкерных стержней. – №2(23). – С.89–92.
71. **Нежданов К.К., Антонов С.А.** Новое соединение сталетрубобетонной колонны с железобетонным фундаментом. – №2(23). – С.93–96.
72. **Некрылова Н.В., Чиркина М.А.** Интегрирование управления риском ресурсного обеспечения бизнес-процессов в процессную среду промышленного предприятия. – №3(24). – С.148–154.
73. **Низина Т.А., Балыков А.С.** Анализ комплексного влияния модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов. – №4(25). – С.25–32.
74. **Низина Т.А., Инин А.Е.** Энергоэффективные жидкие теплоизоляционные покрытия на основе полых микросфер и тонкодисперсных минеральных наполнителей. – №4(25). – С.33–41.
75. **Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р., Артамонов Д.А.** Климатическая стойкость полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих. – №1(22). – С.34–42.
76. **Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р., Чернов А.Н.** Моделирование влияния актинометрических параметров на изменение декоративных характеристик эпоксидных композитов, экспонирующихся в натуральных условиях. – №2(23). – С.27–36.
77. **Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р.** Влияние добавок глинистых в портландцемент на водопоглощение цементного камня. – №4(25). – С.18–24.
78. **Резник С.Д.** Распоряжение: как сформулировать его таким образом, чтобы подчиненный мог и хотел его выполнить. – №4(25). – С.141–147.
79. **Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Неверов В.А., Селяев П.В.** Фрактальные модели разрушения бетонов. – №1(22). – С.11–22.
80. **Селяев В.П., Нурлыбаев Р.Е., Мамин Б.Ф., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И.** Структурные, спектроскопические и теплофизические исследования природных диатомитов некоторых месторождений республики казахстан. – №1(22). – С.5–10.
81. **Селяев В.П., Осипов А.К., Селяев П.В.** Химическое сопротивление арматурной стали водным растворам, содержащим ионы хлора. – №3(24). – С.4–10.
82. **Селяев В.П., Селяев П.В., Алимов М.Ф., Шабает И.Н.** Исследование свойств эпоксидной матрицы для композитной арматуры. – №2(23). – С.5–14.
83. **Снежкина О.В., Скачков Ю.П., Ладин Р.А.** Оценка каркасно-стержневых моделей для определения трещиностойкости коротких балок. – №1(22). – С.101–104.
84. **Снежкина О.В., Скачков Ю.П., Ладин Р.А.** Эмпирический метод расчета трещиностойкости коротких железобетонных балок. – №2(23). – С.84–88.
85. **Сорокин Д.С., Береговой В.А.** Искусственные пористые заполнители на основе гранулированного пеностекла. – №2(23). – С.78–83.
86. **Сычев С.А.** Нормативно-технологическое обеспечение процесса монтажа быстровозводимых модульных зданий (хронометражные исследования). – №3(24). – С.49–54.
87. **Титова Е.И., Мартынова А.Д.** Модульное обучение в строительном вузе: систематизация математических знаний. – №1(22). – С.136–141.
88. **Тюкалов Ю.Я., Рябов И.В.** Совершенствование конструкции и технологии строительства гофрированных арочных грунтозасыпных мостов на автомобильных дорогах. – №3(24). – С.96–100.
89. **Учаева Т.В.** Экономическая оценка качества процесса окрашивания строительных изделий и конструкций. – №4(25). – С.132–136.

- 
90. **Учаева Т.В., Минкина С.Е.** Реализация инновационной политики региона на примере Пензенской области. – №3(24). – С.143–147.
91. **Учаева Т.В., Тусков А.А.** Анализ затрат на процесс малярных работ с гарантированным уровнем качества покрытий. – №2(23). – С.149–152.
92. **Хвастунов В.Л., Скачков Ю.П., Хвастунов А.В.** Связь прочностных и деформационных свойств бетонов и фибробетонов с параметрами продавливания железобетонных плит. – №1(22). – С.93–100.
93. **Хрусталеv Б.Б., Учаева Т.В.** Варианты повышения организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов на примере Пензенской области. – №1(22). – С.148–152.
94. **Цимбельман Н.Я., Чернова Т.И., Шмыков А.А.** Параметры математической модели цилиндрических оболочек большого диаметра с наполнителем. – №4(25). – С.65–73.
95. **Черкасов В.Д., Ушкина В.В.** Белковый пенообразователь на основе продуктов микробного синтеза для производства ячеистых бетонов. – №2(23). – С.51–56.
96. **Черкасов В.Д., Ушкина В.В.** Пенобетоны на основе белкового пенообразователя из послеспиртовой барды. – №4(25). – С.12–17.
97. **Чернявская Е.М., До Т.Х.** Анализ исторического развития планировочной структуры общественных центров крупнейших городов вьетнама (на примере городов Ханой и Хайфон). – №3(24). – С.122–130.
98. **Шестернева Н.Н.** Российские градостроительные школы в XXI веке. – №2(23). – С.136–143.
99. **Яхкинд М.И., Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Князев В.А.** Использование методов химического и электрохимического окисления соединений железа в технологии получения ферратов. – №1(22). – С.125–129.