

**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 18.03.2015.

Формат 60x84 1/8.

Уч.-изд.л. 19,0. Тираж 500 экз. Первый завод 100.

Заказ № 95.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ  
АРХИТЕКТУРА  
И СТРОИТЕЛЬСТВО  
1(22)/2015**

**Содержание**

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ИЗДЕЛИЯ..... 5**

**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 ..... 5**

**Селяев В.П., Куприяшкина Л.И.,  
Неверов В.А., Селяев П.В.**  
**ФРАКТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ  
БЕТОНОВ ..... 11**

**Данилов А.М., Гарькина И.А., Сорокин Д.С.**  
**ЛОГИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ  
ПРИ СИНТЕЗЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ..... 23**

**Максимова И.Н., Макридин Н.И.,  
Ерофеев В.Т., Полубарова Ю.В.**  
**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОГО  
ПОВЕДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ .. 28**

**Низина Т.А., Селяев В.П.,  
Низин Д.Р., Артамонов Д.А.**  
**КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ  
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ  
СВЯЗУЮЩИХ..... 34**

**Ерофеев В.Т., Мышкин А.В., Смирнов В.Ф.**  
**СТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРАКРИЛАТНОЙ  
СМОЛЫ В МОДЕЛЬНЫХ СРЕДАХ  
МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ И БАКТЕРИЙ ..... 43**

**Коровкин М.О., Калашников В.И., Ерошкина Н.А.**  
**ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЗОЛЫ-УНОСА  
НА СВОЙСТВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ  
БЕТОНА..... 49**

**Береговой В.А., Сорокин Д.С.**  
**СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ  
НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД..... 54**

© Авторы публикаций, 2015

© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2015

© ПГУАС, 2015

<b>Логанина В.И., Рыжов А.Д.</b> РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С СИНТЕЗИРУЕМОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО АЛЮМИНИЯ.....	58	<b>Бакушев С.В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ТОНКОМ СТЕРЖНЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОБСТВЕННОГО ВЕСА С УЧЁТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ-НЕЛИНЕЙНЫХ СООТНОШЕНИЙ .....	105
<b>Логанина В.И., Фролов М.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЯ АЛЮМИНАТА КАЛЬЦИЯ В ИЗВЕСТКОВЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СОСТАВАХ.....	62	<b>Корнюхин А.В., Киселев А.А.</b> ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РОСТВЕРКОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ .....	114
<b>Кочеткова М.В., Щеглова А.С.</b> ДЕКОРАТИВНЫЕ КАЧЕСТВА РАСТВО- РОВ ДЛЯ НАРУЖНОЙ ОТДЕЛКИ СТЕН ИЗ ПЕНОБЕТОНА.....	67	ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ.....	120
<b>Леснов В.В.</b> СТОЙКОСТЬ В КИСЛОЙ СРЕДЕ МАТРИЧНЫХ И КЛЕЕВЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СОСТАВОВ КАРКАСНЫХ БЕТОНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ .....	72	<b>Андреев С.Ю., Яхкинд М.И., Гарькина И.А., Князев В.А.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ	120
<b>Кочеткова М.В., Гусев Н.И., Щеглова А.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДОЧНЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ.....	78	<b>Яхкинд М.И., Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Князев В.А.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ХИМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРАТОВ .....	125
<b>Гусев Н.И., Кочеткова М.В., Щеглова А.С.</b> ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТНОЙ ДИСПЕРСИИ И СИНТЕТИЧЕСКОГО ЛАТЕКСА .....	82	<b>Данилов А.М., Гарькина И.А., Дулатов Р.Л.</b> РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ .....	130
<b>Береговой В.А.</b> СТЕНОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ОПОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД.....	88	<b>Титова Е.И., Мартынова А.Д.</b> МОДУЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ: СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ.....	136
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ .....	93	АРХИТЕКТУРА .....	142
<b>Хвастунов В.Л., Скачков Ю.П., Хвастунов А.В.</b> СВЯЗЬ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ И ФИБРОБЕТОНОВ С ПАРАМЕТРАМИ ПРОДАВЛИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ .....	93	<b>Енгоян А.Р., Азатян К.Р.</b> ПУТИ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО ДОСТУПНОГО ЖИЛИЩА В АРМЕНИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ .....	142
<b>Снежкина О.В., Скачков Ю.П., Ладин Р.А.</b> ОЦЕНКА КАРКАСНО-СТЕРЖНЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КОРОТКИХ БАЛОК.....	101	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ .....	148
		<b>Хрусталева Б.Б., Учаева Т.В.</b> ВАРИАНТЫ ПОВЫШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	148

# Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS .....	5	<b>Kochetkova M.V., Scheglova A.S.</b> DECORATIVE MORTARS FOR EXTREMAL FOAM CONCRETE WALL FINISHING .....	67
<b>Selyaev V.P., Nurliebaev R.E., Mamim B.F., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I.</b> STRUCTURAL, SPECTROSCOPIC AND THERMAL RESEARCHES OF NATURAL DIATOMITE OF SOME FIELDS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN .....	5	<b>Lesnov V.V.</b> STABILITY IN ACIDIC ENVIRONMENT OF MATRIX AND ADHESIVE CEMENT COMPOSITIONS OF CARCASS CONCRETES OBTAINED BY INTENSIVE TECHNOLOGIES .....	72
<b>Selyaev V.P., Kupriyashkina L.I., Neverov V.A., Selyaev P.V.</b> FRACTAL MODELS OF CONCRETE DESTRUCTION .....	11	<b>Kochetkova M.V., Gusev N.I., Scheglova A.S.</b> RESEARCH OF SHRINKAGE AND THERMAL DEFORMATIONS FOAMPOLIMERCEMENT SOLUTIONS .....	78
<b>Danilov A.M., Garkina I.A., Sorokin D.S.</b> SYNTHESIS OF COMPOSITES: LOGICAL AND METHODOLOGICAL MODELS .....	23	<b>Gusev N.I., Kochetkova M.V., Shcheglova A.S.</b> WATER ABSORPTION OF FOAMPOLIMERCEMENT SOLUTIONS BASED ON POLYVINYL ACETATE DISPERSIONS AND SYNTHETIC LATEX ..	82
<b>Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T., Polubarova Yu.V.</b> METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTEGRATED EVALUATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF CEMENT COMPOSITES .....	28	<b>Beregovoi V.A.</b> WALL BUILDING MATERIALS WITH AGGRERATES FROM FLASK ROCKS .....	88
<b>Nizina T.A., Selyaev V.P., Nizin D.R., Artamonov D.A.</b> ANALYSIS OF CLIMATE RESISTANCE OF POLYMER COMPOSITES BASED ON EPOXY BINDER .....	34	BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS .....	93
<b>Yerofeev V.T., Myshkin A.V., Smirnov V. F.</b> RESISTANCE OF POLYMER MATERIALS IN THE MODEL ENVIRONMENTS OF MYCELIAL FUNGI AND BACTERIA .....	43	<b>Khvastunov V.L., Skachkov Y.P., Khvastunov A.V.</b> CONNECTION OF STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF CONCRETE AND FIBER REINFORCED CONCRETE WITH PARAMETERS OF REINFORCED CONCRETE SLABS PUNCHING .....	93
<b>Korovkin M.O., Kalashnikov V.I., Eroshkina N.A.</b> INFLUENCE OF HIGH-CALCIUM FLY ASH ON THE PROPERTIES OF SELF- COMPACTING CONCRETE .....	49	<b>Snezhkina O.V., Skachkov Y.P., Ladin R.A.</b> EVALUATION OF FRAME-ROD MODELS TO DETERMINE THE FRACTURE TOUGHNESS OF SHORT BEAMS .....	101
<b>Beregovoi V.A., Sorokin D.S.</b> GLASS-CRYSTAL MATERIALS ON THE BASIS OF FLASK ROCK .....	54	<b>Bakushev S.V.</b> DETERMINATION OF DISPLACEMENT IN THIN ROD UNDER THE ACTION OF OWN WEIGHT TAKING INTO ACCOUNT GEOMETRICALLY NON-LINEAR RELATIONS .....	105
<b>Loganina V.I., Ryzhov A.D.</b> RHEOLOGICAL PROPERTIES OF LIME DRY BUILDING MIXES WITH ADMIXTURE BASED ON AMORPHOUS ALUMINIUM ..	58	<b>Kornuhin A.V., Kiselev A.A.</b> STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE RAFT FOUNDATION UNDER SHEAR FORCES .....	114
<b>Loganina V.I., Frolov M.V.</b> APPLICATION OF SOL CALCIUM ALUMINATE IN THE LIME FINISHING COMPOSITIONS .....	62		

ENGINEERING SYSTEMS .....	120	ARCHITECTURE.....	142
<b>Andreev S.Y., Yakhkind M.I., Gar'kina I.A., Knyazev V.A.</b>		<b>Yengoyan A.R., Azatyan K.R.</b>	
THE USE OF THE TECHNOLOGY OF ALKALINE REAGENTS		WAYS OF SOCIAL HOUSING DEVELOPMENT IN ARMENIA AT THE PRESENT STAGE .....	142
ELECTROCHEMICAL ACTIVATION FOR THE INTENSIFICATION OF LOCAL TREATMENT FACILITIES PERFORMANCE	120	ECONOMICS AND MANAGEMENT ..	148
<b>Yakhkind M. I., Andreev S. Y., Gar'kina I. A., Knyazev V. A.</b>		<b>Hrustalev B.B., Uchaeva T.V.</b>	
METHODS OF IRON COMPOUNDS CHEMICAL AND ELECTROCHEMICAL OXIDATION IN THE TECHNOLOGY OF FERRATES PREPARATION PRODUCTION	125	OPTIONS OF IMPROVING ORGANIZATIONAL-ECONOMIC POTENTIAL OF COMPANIES OF BUILDING MATERIALS INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF THE PENZA REGION.....	148
<b>Danilov A.M., Garkina I.A., Dulatov R.L.</b>			
RETROSPECTIVE COMPLEX SYSTEMS IDENTIFICATION .....	130		
<b>Titova E.I., Martynova A.D.</b>			
MODULAR TEACHING AT A CONSTRUCTION UNIVERSITY: SYSTEMATIZATION OF MATHEMATICAL KNOWLEDGE .....	136		

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 553.5:691.1(574)

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

Россия, 430000, г. Саранск,  
ул. Советская, д. 24  
тел.: (8342) 47-71-56

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

**Мамин Борис Фятыхович**,  
кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник кафедры общей физики

**Неверов Вячеслав Александрович**,  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры «Физика твердого тела»

**Куприяшкина Людмила Ивановна**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
*Казахский национальный технический  
университет им. К.И. Сатпаева*

Республика Казахстан, 050013,  
г. Алматы, ул. Сатпаева, д. 22  
тел.: (8727) 292 69 01

**Нурлыбаев Руслан Ергалиевич**,  
докторант

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

Russia, 430000, Saransk, 24,  
Soviet St.,  
tel.: (8342) 47-71-56

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

**Mamim Boris Fyattyahovich**,  
Candidate of Sciences, senior researcher of the  
department «General physics»

**Neverov Vyacheslav Aleksandrovich**,  
Candidate of physico-mathematical sciences,  
Associate Professor of the department «Solid  
state physics»

**Kupriyashkina Ludmila Ivanovna**,  
Candidate of Sciences, Professor of the  
department «Building structures »  
*Kazakh national technical University named  
after K. I. Satpayev*

The Republic Of Kazakhstan, 050013,  
Almaty, 22, Satpaev St.,  
tel.: (8727) 292 69 01

**Nurliebaev Ruslan Ergalievich**,  
doctoral candidate

## СТРУКТУРНЫЕ, СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ДИАТОМИТОВ НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

В.П. Селяев, Р.Е. Нурлыбаев, Б.Ф. Мамин, В.А. Неверов, Л.И. Куприяшкина

Методами электронной микроскопии, рентгеновской флуоресценции и термогравиметрического анализа исследованы строение, состав и некоторые теплофизические характеристики диатомитов месторождений Актюбинской области (Казахстан). Установлено высокое содержание аморфного диоксида кремния. Приведены данные для сравнительного анализа элементного состава диатомитовых пород других месторождений.

*Ключевые слова: диатомит, диоксид кремния, состав, месторождение, структура, свойства*

## STRUCTURAL, SPECTROSCOPIC AND THERMAL RESEARCHES OF NATURAL DIATOMITE OF SOME FIELDS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

V.P. Selyaev, R.E. Nurliebaev, B.F. Mamim, V.A. Neverov, L.I. Kupriyashkina

By electron microscopy, x-ray fluorescence and thermogravimetric analysis the structure, composition and some thermophysical characteristics of diatomite deposits of Aktyubinsk region (Kazakhstan) was made. The high content of amorphous silicon dioxide is found. The data for the comparative analysis of the elemental composition of diatomite rocks of other fields are presented.

*Keywords: diatomaceous earth, silicon dioxide, composition, field, structure, properties*

Уникальные свойства кремнезема, составляющего основу многих природных дисперсных порошков – диатомитов, трепелов, кизельгутов и т.д., а также искусственных микрокремнеземов, таких, как аэросил, белая сажа, постоянно стимулируют исследования особенностей их структуры с целью разработки и создания строительных материалов нового поколения, прогнозирования эксплуатационных свойств изделий, повышения энергоэффективности строительных конструкций и значительного уменьшения негативного воздействия на окружающую среду. Республика Казахстан богата минеральными ресурсами, в том числе и значительными запасами диатомитовых залежей, пригодных для разработок открытым способом и применения в различных областях строительного производства, например, в качестве исходного сырья для получения высококачественного аморфного диоксида кремния. Одним из направлений использования аморфного диоксида кремния является создание и производство теплоизоляционных панелей различного назначения. Теплопроводность дисперсных систем во многом определяется составом и свойствами частиц, особенностями поровой структуры различных масштабных уровней [1]. Использование современного лабораторного оборудования дает возможность адекватного представления результатов исследований с учетом тенденции наноструктурированного дисперсного материала к самоорганизации, образованию ансамблей подструктур и кластеров.

Диатомиты представляют собой осадочные породы органогенного происхождения, основу которых составляют панцири и их обломки одноклеточных диатомовых водорослей. Их многочисленные месторождения достаточно широко представлены в Республике Казахстан, Российской Федерации, Китае, США, Канаде и других странах. Особую роль могут играть модифицированные диатомиты в виде частиц аморфного диоксида кремния (микрокремнезема) в наполнителях вакуумных изоляционных панелей, используемых в ограждающих конструкциях зданий в ряде стран Европы, Северной Америки и практически не представленных на рынках Республики Казахстан и Российской Федерации.

Проводились исследования гранулометрического, элементного состава и термогравиметрических параметров природных диатомитов Утесайского, Жалпакского и Киргизского месторождений Актыубинской области Республики Казахстан.

Образцы ископаемых диатомитов представляли собой тонкодисперсные порошки серо-желтоватого цвета, полученные путем помола слегка сцементированных пород соответствующих месторождений. Гранулометрический состав приготовленного таким способом дисперсного материала представлен в табл. 1. Измерения проводились с помощью анализатора размеров частиц мелкодисперсных сред Shimadzu SALD-3101 с диапазоном измерений от 50 нм до 3 мм. Анализ характера распределения частиц природных диатомитов по размерам показал, что 99 % от их общего количества имеет линейные размеры: 0,260–0,783 мкм (Утесайское месторождение); 0,260–0,504 мкм (Жалпакское месторождение); 0,260–0,789 мкм (Киргизское месторождение). Распределения частиц по размерам близки к гауссовым – наиболее вероятные значения крупности для дисперсного материала Утесайского, Жалпакского и Киргизского месторождений близки друг к другу и лежат в интервале ~0,350–0,410 мкм. Таким

образом, порошки исследуемых диатомитов представляют собой ультрадисперсные зернистые системы, состоящие в основном из частиц субмикрометровых размеров.

Т а б л и ц а 1

Крупность, мкм	Содержание частиц диатомита месторождений		
	Утесайское, %	Жалпакское, %	Киргизское, %
0,260	0,890	2,885	1,026
0,291	5,770	13,138	6,178
0,325	13,407	20,307	13,444
0,362	23,774	27,364	23,075
0,404	23,191	23,215	22,481
0,451	14,573	9,292	14,311
0,504	9,551	3,373	9,565
0,563	4,028	0,051	4,418
0,628	1,319	0	1,780
0,701	1,497	0,062	1,712
0,783	0,963	0,106	1,074
0,834	0,499	0,039	0,556
0,975	0,192	0,004	0,210
1,089	0,087	0	0,095

На рис. 1 приведены изображения, полученные методом электронной микроскопии порошков природных диатомитов. Отчетливо видны остатки створок панцирей диатомовых водорослей с регулярными каналами диаметра ~300–500 нм, составляющих систему жизнеобеспечения одноклеточных водорослей, а также разнообразные по форме и размерам обломки дисперсного материала. Характерной особенностью зернистых систем является их значительная пористость, достигающая даже для природных ископаемых пород 70 % и более. Свободное пространство между частицами, а также неоднородности самих частиц аморфного диоксида кремния в виде пор, каналов, трещин нано- и субмикрометровых размеров образуют развитую поровую структуру различных масштабных уровней, что и определяет многие свойства минеральных порошков, в частности их низкую теплопроводность.

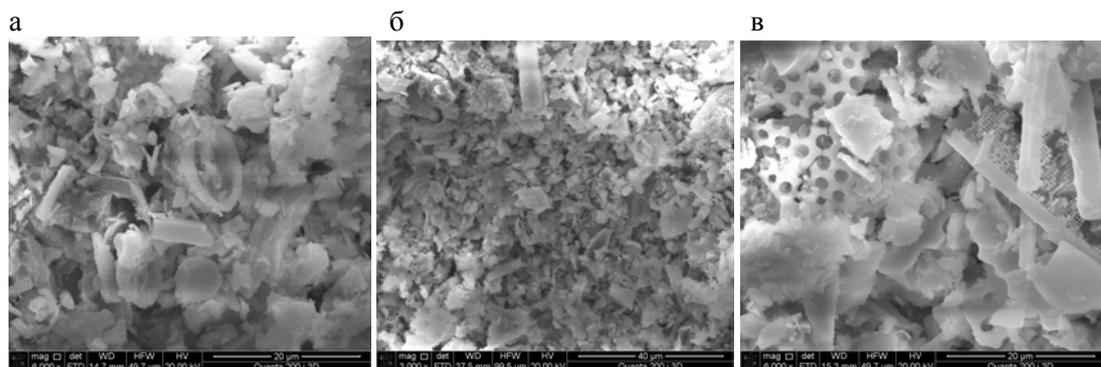


Рис. 1. Микрофотографии порошков природных диатомитов:  
а – Утесайского; б – Жалпакского; в – Киргизского месторождений

Элементный состав диатомитов Утесайского, Жалпакского и Киргизского месторождений приведен в табл. 2. Обращает на себя внимание значительное содержание диоксида кремния в исследуемом природном материале; и если процентное содержание этого оксида в пробах Утесайского и Киргизского месторождений примерно одинаково (~77–79 %), то диатомит Жалпакского месторождения имеет в своем составе заметно больше  $\text{SiO}_2$  – до примерно 87 %.

По показателю  $\text{Al}_2\text{O}_3$  жалпакский диатомит беднее двух других исследованных пород – 6,6 % против 9,9 % соответственно. Оксиды железа представлены во всех трех диатомитах примерно одинаково.

Диатомиты месторождений различных регионов могут заметно отличаться друг от друга в первую очередь по содержанию оксидов кремния, алюминия и железа. В табл. 3 приводятся данные по указанным трем оксидам диатомитов некоторых месторождений Казахстана, России и Армении [2], включая диатомиты, которые использовали в своих исследованиях авторы. Согласно табл. 3 исследованные диатомиты Мордовии и Казахстана следует отнести к наиболее богатым по содержанию аморфного диоксида кремния. Исследования элементного состава проводились методом рентгеновской флуоресценции.

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Элементный состав диатомитов	Месторождения диатомитов		
		Утесайское	Жалпакское	Киргизское
1	SiO <sub>2</sub>	79,92	86,52	77,36
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,91	6,58	9,91
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,79	3,21	3,99
4	K <sub>2</sub> O	1,39	1,43	1,57
5	MgO	1,55	0,790	2,05
6	CaO	0,757	0,238	0,218
7	TiO <sub>2</sub>	0,659	0,445	0,786
8	Na <sub>2</sub> O	0,485	0,215	0,990
9	SO <sub>3</sub>	0,0227	0,354	0,618
10	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0171	0,0576	0,0689
11	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0458	0,0294	0,0543
12	Cl	1,33	-	2,23
13	NiO	-	-	-

Т а б л и ц а 3

Месторождение	Расположение	Содержание оксидов, %		
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Утесайское	Актюбинская обл., Казахстан	79,9	9,9	3,8
Жалпакское	Актюбинская обл., Казахстан	86,5	6,6	3,2
Киргизское	Актюбинская обл., Казахстан	77,4	9,9	4,0
Атемарское	Мордовия, Россия	87,2	5,2	3,4
Инзенское	Ульяновская обл., Россия	86,2	7,1	2,7
Забалуьское	Ульяновская обл., Россия	83,7	5,7	2,1
Никольское	Пензенская обл., Россия	84,1	7,2	3,9
Балашейское	Самарская обл., Россия	79,6	8,7	4,3
Миллеровское	Ростовская обл., Россия	75,8	7,8	4,4
Ковдореро	Мурманская обл., Россия	65,5	3,9	1,5
Лумболка	Мурманская обл., Россия	67,0	7,2	2,4
Нюдозеро	Мурманская обл., Россия	71,7	5,2	1,9
Арзнинское	Армения	77,1	8,8	2,5
Нуркуское	Армения	90,3	2,5	1,3

Исследования процессов, протекающих при нагревании диатомитов, выполнялись методом термогравиметрического анализа [3]. Эти методы позволяют изучать процессы дегидратации, структурных изменений некоторых фаз порошкообразного вещества, физические переходы и химические реакции.

На рис. 2 представлены результаты термического анализа образцов диатомитов Утесайского, Жалпакского и Киргизского месторождений. Температура при нагревании менялась от 28 до 1000 °С со скоростью 10 °С/мин. Следует отметить, что все три порошка природных диатомитов имеют сходные теплофизические характери-

стики. На кривой термогравиметрического анализа (ТГ) наблюдаются три ступени потери массы образцов в процессе нагревания. Первая из них начинается сразу после начала нагрева и продолжается примерно до 350 °С. При этом происходит частичная дегидратация природных диатомитов и масса образцов уменьшается примерно на 6 %. При дальнейшем нагревании в интервале температур 400–600 °С, наряду с продолжающейся дегидратацией мелкомасштабных пор и поровых каналов частиц аморфного диоксида кремния, наблюдается интенсивное выгорание остатков органического материала в створках и обломках панцирей диатомовых водорослей, а также других примесей органического происхождения. Эти процессы регистрируются на диаграмме термогравиметрического анализа в виде эндотермического пика в районе 500 °С. Потеря массы на данном этапе составляет примерно 2,5 %.

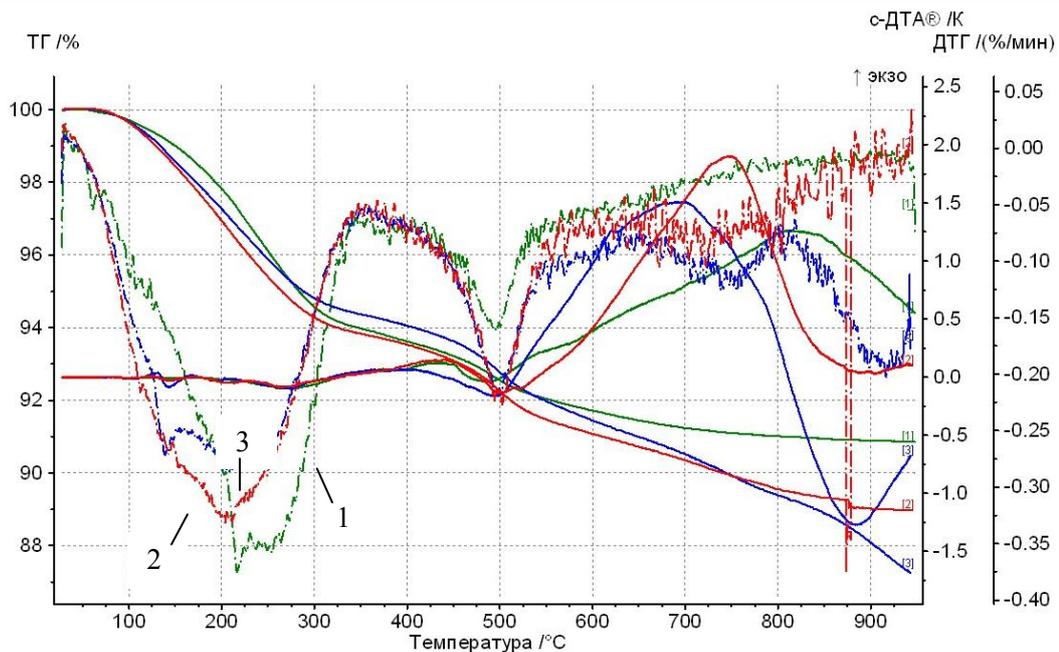


Рис. 2. Данные термогравиметрического анализа образцов природных диатомитов:  
1 – Жалпакского; 2 – Утесайского; 3 – Киргизского месторождений

Нагрев дисперсного материала от 600 до 1000 °С также сопровождается уменьшением массы проб диатомитов. Минимальная потеря массы наблюдается у диатомита Жалпакского месторождения, максимальная – у диатомита Киргизского месторождения. Всего за цикл нагрева диатомит Утесайского месторождения теряет ~11 %, Жалпакского ~9 %, Киргизского ~13 % первоначальной массы.

Кривые ТГ-анализа в области температур 600–1000 °С позволяют судить о процессах, определяемых, вероятно, перестройками, происходящими в материале примесей, объективно присутствующих во всех диатомитовых породах. Это в первую очередь глинистые материалы, слюды, шпаты, другие кристаллические составляющие. В частности, при температуре ~870 °С у образца утесайского диатомита наблюдается скачкообразное уменьшение массы, совпадающее с резким пиком кривой с-ДТА, что, видимо, связано с полиморфным переходом  $\beta$ -кварц  $\Rightarrow$  о-тридимит. Аналогичные теплофизические процессы наблюдались при нагревании природных диатомитов других месторождений, а также некоторых видов микрокремнеземов. Так, кривые ТГА диатомитов месторождений Среднего Поволжья Российской Федерации содержат аналогичные пики эффектов потери массы в интервале температур 30–350 °С и характерные для экзотермических реакций максимумы в диапазоне 680–890 °С [4]. Искусственные микрокремнеземы, полученные различными методами и состоящие преимущественно из агрегированных частиц аморфного диоксида кремния, при нагревании также имеют тенденцию к дегидратации поверхностей и поровых систем различных масштабов при относительно невысоких температурах (до ~300 °С). Струк-

турные перестройки первичных частиц микрокремнеземов, их агрегатов, сопровождающиеся изменениями схемы пространственной организации нано- и микроструктуры дисперсной системы, по-видимому, происходят при температурах ~600–1000 °С и проявляют себя системой слабовыраженных эндо- и экзотермических максимумов [5].

Таким образом, проведенные исследования позволяют считать диатомиты Утесайского, Жалпакского и Киргизского месторождений Актюбинской области Республики Казахстан близкими по своему химическому составу, структуре и теплофизическим свойствам. Отличительной особенностью данных диатомитов является высокое содержание SiO<sub>2</sub>, поэтому это природное минеральное сырье можно рассматривать как потенциальный источник высококачественного аморфного диоксида кремния для нужд химической и фармацевтической промышленности, а также для обогащения стеклообразующих шихт в пеностекольном производстве. После определенной модификации – прокаливания при температурах 800–1000 °С – ископаемые породы вполне могут применяться в качестве огнеупорных засыпок в системах теплоизоляции, а также для производства экологически чистых, не требующих специальных мероприятий по утилизации теплоизоляционных материалов.

### Список литературы

1. Селяев, В.П. Полиструктурная модель теплоизоляционного материала на основе дисперсного микрокремнезема / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2(13). – С. 5–11.
2. Селяев, В.П. Микроструктура перспективных теплоизоляционных материалов на основе диатомитов Среднего Поволжья / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С.12–17.
3. Селяев, В.П. Аппаратура и методы исследования дисперсных систем / В.П. Селяев, В.А. Неверов // Инновационное образование. – 2013. – № 4(7). – С. 71–120.
4. Selyaev, V.P. Diatomite of the Central Volga Region. Structure and Properties / V.P. Selyaev [etc.] // Science, Technology and Higher Education : Materials of the II International Research and Practice Conference . Vol. II. April 17<sup>th</sup>. – Westwood, Canada. – 2013. – P. 218–227.
5. Селяев, В.П. Теплоизоляционные свойства материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков / В.П. Селяев [и др.] // Строительные материалы. – 2013. – № 1. – С. 61–64.

### References

1. Selyaev, V.P. Polystructural model of thermal insulation material on the basis of dispersed silica fume / V.P. Selyaev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2013. – №2(13). – P. 5–11.
2. Selyaev, V.P. Microstructure of promising thermal insulation materials based on diatomite of the Central Volga Region / V.P. Selyaev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2013. – №1 (15). – P. 12–17.
3. Selyaev, V.P. The equipment and methods of disperse systems / V.P. Selyaev, V.A. Neverov // Innovative education. – 2013. – №4(7). – P. 71–120.
4. Selyaev, V.P. Diatomite Middle Volga. Structure and Properties / V.P. Selyaev [etc.] // Science, Technology and Higher Education : Materials of the II International Research and Practice Conference. Vol. II. April 17<sup>th</sup>. – Westwood, Canada. – 2013. – P. 218–227.
5. Selyaev, V.P. Insulating properties of materials on the basis of fine mineral powders / V.P. Selyaev [etc.] // Building materials. – 2013. – № 1. – P. 61–64.

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

Россия, 430000, г. Саранск,  
ул. Советская, д. 24  
тел.: (8342) 47-71-56

**Селяев Владимир Павлович,**  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Строительные конструкции»  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Куприяшкина Людмила Ивановна,**  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»

**Неверов Вячеслав Александрович,**  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры «Физика твердого тела»

**Селяев Павел Владимирович,**  
кандидат технических наук, доцент

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

Russia, 430000, Saransk, 24,  
Soviet St.,  
tel.: (8342) 47-71-56

**Seljaev Vladimir Pavlovich,**  
Doctor of Sciences, Professor, Head of the department  
«Building structures»  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Kupriyashkina Ludmila Ivanovna,**  
Candidate of Sciences, Professor of the  
department «Building structures»

**Neverov Vyacheslav Aleksandrovich,**  
Candidate of physico-mathematical Sciences,  
Associate Professor of department «Solid state  
physics»

**Selyaev Pavel Vladimirovich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor

## ФРАКТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНОВ

В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, В.А. Неверов, П.В. Селяев

Показано, что структура цементного бетона имеет иерархическое строение, организованное по принципу «структура в структуре», «блок в блоке», она фрактальна, так как состоит на разных масштабных уровнях из частей, которые подобны целому. Рассмотрена механика разрушения бетона под нагрузкой на различных масштабных уровнях структуры, каждому из которых соответствует свой механизм разрушения, характерный только для данного масштабного уровня. Установлена зависимость прочности бетона от крупности заполнителя, от величины коэффициента трения (бетон о бетон) и от размеров дефектов (трещин) в матрице.

*Ключевые слова: фрактальность, структура, трещина, точка бифуркации, диаграммы деформирования, неоднородность*

## FRactal Models of Concrete Destruction

V.P. Selyaev, L.I. Kupriyashkina, V.A. Neverov, P.V. Selyaev

The article shows that the structure of cement concrete has a hierarchical structure, organized on the principle of «structure in the structure», «block in the block,» it is fractal, at is consists at different scale levels of parts that are similar to the whole. We consider the fracture mechanics of concrete under load at different levels of scale structure, each of which corresponds to the fracture mechanism unique to the scale level. The dependence of the strength of concrete aggregate size, the coefficient of friction (concrete of the concrete), and on the size of defects (cracks) in the matrix is determined.

*Keywords: fractal, structure, crack bifurcation point, strain diagram, heterogeneity*

Первые искусственные бетоны были созданы подобными природным конгломератам – сплошным обломочным горным породам, состоящим из зерен песка и отдельных кусков разных минералов, сцементированных глиной, известью, кремнеземом, битумом и др. (лат. conglomeratus – скопившийся, собранный). Эволюция бетона развивалась по пути от конгломерата к композиту.

Впервые в работах В.И. Соломатова [1] было предложено рассматривать бетон как композит, состоящий из двух и более компонентов, синергизм которых обеспечивает высокое качество материала, не присущее исходным компонентам. Продуктивность этого подхода выражается в повышении предела прочности цементного бетона от 20

до 200 ÷ 400 МПа, морозостойкости – до 1000 циклов, водонепроницаемости – до 50 МПа и т.д.

На современном этапе развития бетоноведения принято считать, что повышение качества бетона обеспечивается повышением прочности, однородности, содержания цемента в единице объема. Эти принципы верны для бетонов со структурой конгломератного типа, но они не работают для бетонов композитов. Начиная с некоторого предела плотность, однородность структуры бетона изменяются незначительно, а прочность, морозостойкость при этом резко растут. Очевидно, механизм разрушения бетонов композитного и конгломератного типов имеет свои особенности.

В предлагаемой статье рассматриваются физические основы разрушения бетонов под действием сжимающих и растягивающих усилий с учетом неоднородности и фрактальности структуры материала.

Бетон относится к материалам, в структуре которых имеется множество неоднородностей, дефектов на различных масштабных уровнях структуры. Склерометрическим методом показано [2], что распределение микротвердости, а следовательно, и прочности, а также модуля упругости по площади поперечного сечения образцов-призм из цементных композитов весьма неравномерно и зависит от технологии, степени наполнения, свойств компонентов (рис. 1, 2).

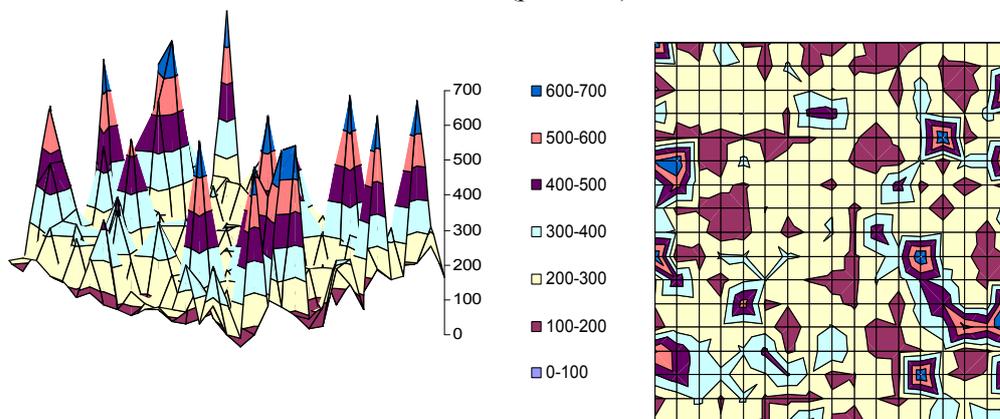


Рис. 1. Распределение микротвердости по поверхности наполненных диатомитом цементных композитов (скорость перемешивания – 360 об/мин, время перемешивания – 40 с)

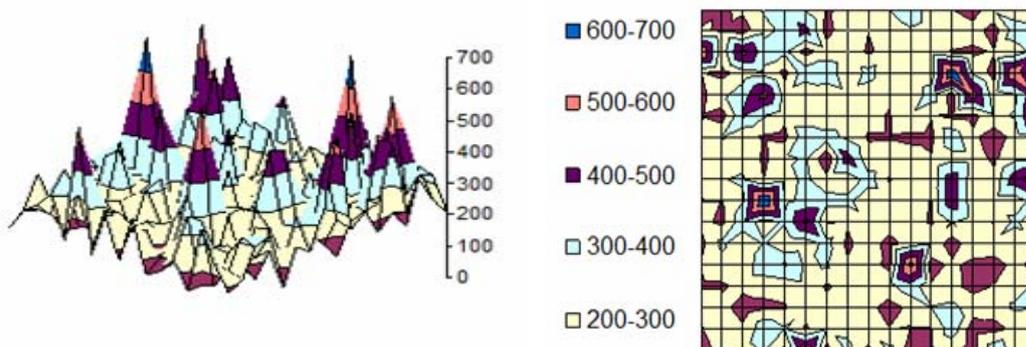


Рис. 2. Распределение микротвердости по поверхности наполненных цеолитом цементных композитов (скорость перемешивания – 60 об/мин, время перемешивания – 40 с)

Неоднородность свойств адекватно отражается на распределении деформаций, напряжений в пределах площади поперечного сечения (рис. 3).

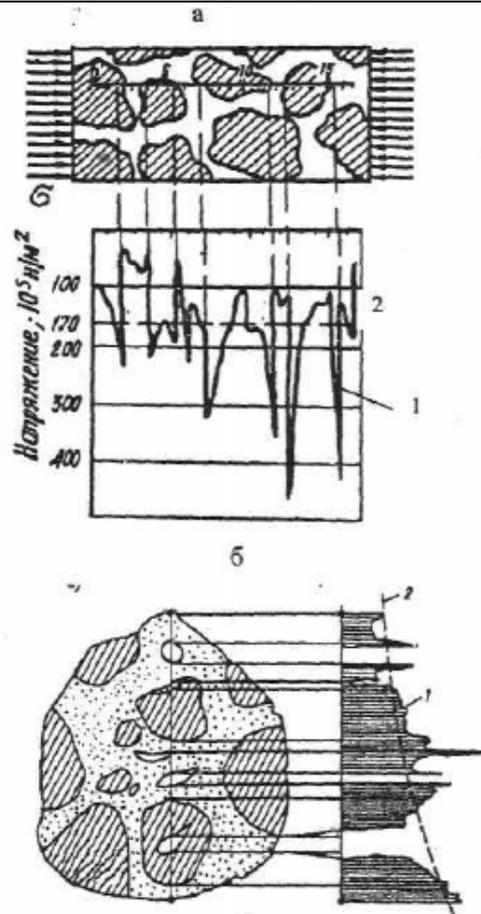


Рис. 3. Действительные (1) и осредненные (2) эпюры напряжений в бетоне:  
а – по И.М.Грушко; б – по Н.И.Карпенко

Несмотря на высокую степень неоднородности структуры бетона, предлагаем ее рассматривать с позиций фрактальности, подобной на разных масштабных уровнях.

По Мандельброту, «структура фрактальна, если состоит из частей, которые в каком-то смысле подобны целому» [3]. О подобии структур на разных масштабных уровнях строения композитов отмечалось в работах В.И. Соломатова, М.А. Садовского, М.А. Скоробогатова, Ю.В. Зайцева, Е.М. Чернышева, В.П. Селяева [1, 2, 4–7].

Соломатов В.И. в соответствии с полиструктурной теорией композиционных строительных материалов (КСМ) предполагал: «КСМ являются полиструктурными – составленными из многих структур, переходящих и проникающих одна в другую по принципу «структура в структуре», «композит в композите» [1].

Садовский М.А. отмечал: «В массивах горных пород существует структурная иерархия, блок в блоке» [4]. Этим же взглядом придерживается его последователь С.И. Скоробогатов: «Бетон должен рассматриваться как система из иерархически вложенных друг в друга блоков» [5].

Чернышев Е.М. считает, что «структурные элементы и дефекты проявляются в качестве концентраторов напряжения последовательно на масштабных уровнях материала (мега-, макро-, микро-, субмикро-, нано). Они соотносятся с размером и характеристиками включений в матричной субстанции того или иного уровня» [6].

Фрактальность структуры цементных композитов подтверждается при анализе неоднородных поверхностей распределения микротвердости по площади поперечного сечения. Характерные трехмерные поверхности приведены на рис. 1 и 2. Фрактальный анализ поверхностей позволяет убедиться, что структура цементного композита обладает свойством скейлинга, т.е. она самоподобна на различных масштабных уровнях.

Количественной характеристикой внутреннего порядка (самоподобия) фрактального объекта является фрактальная размерность. В настоящее время предложено множество экспериментальных методов определения фрактальной размерности.

Фрактальную размерность кластеров на плоской поверхности рекомендуется определять методом покрытия квадратами, на трехмерной поверхности – методом островов среза.

Главными источниками неоднородностей в бетоне-композите являются частицы наполнителя, воздуха (поры).

В табл. 1 приведены данные об изменении на различных масштабных уровнях фрактальной размерности наполненных цементных композитов, из анализа которых следует, что структуры подобны и величины фрактальной размерности зависят от степени наполнения.

Таблица 1

№ состава	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К-во цеолита (x <sub>1</sub> )	20 %	10 %	10 %	13 %	17 %	10 %	10 %	17 %	13 %	13 %
Песок/цемент (x <sub>2</sub> )	1/1	4/1	1/1	3/1	2/1	2/1	3/1	1/1	1/1	2/1
В/Ц (x <sub>3</sub> )	0,6	0,6	0,9	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7
D (увел.×10)	2,03	2,55	2,16	2,20	2,42	2,22	2,20	2,07	2,03	2,13
D (увел.×25)	2,03	2,47	2,24	2,19	2,40	2,20	2,20	2,05	2,02	2,11

Экспериментально установлено, что между пределом прочности при сжатии, фрактальной размерностью и степенью наполнения существует корреляционная зависимость [2], графически представленная на рис. 4.

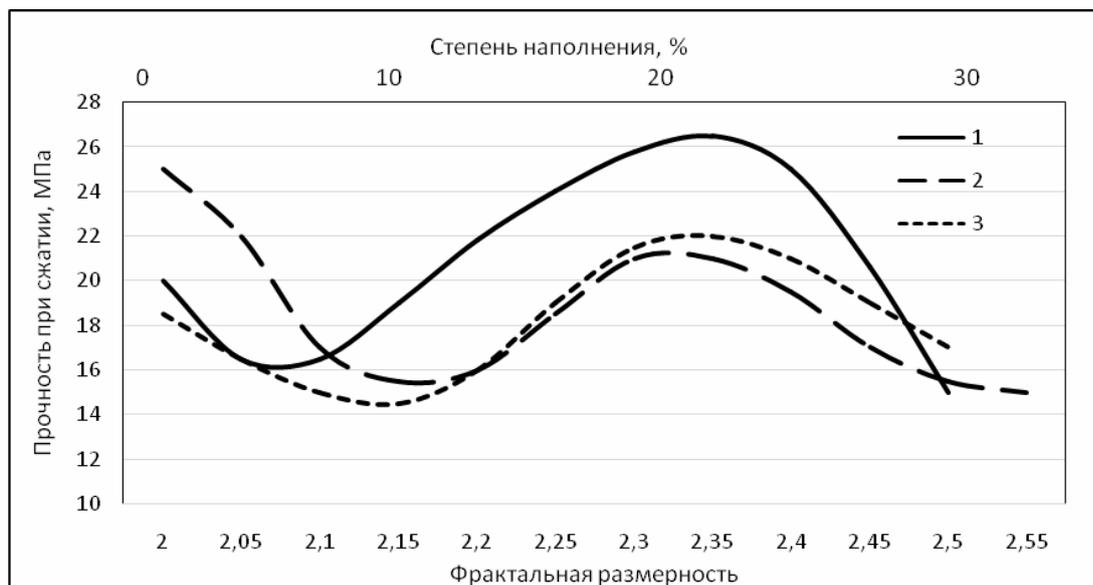


Рис. 4. Зависимость между прочностью при сжатии и фрактальной размерностью (1), степенью наполнения (2, 3):  
1, 2 – диатомит, 3 – ОФС

Предположим, что в результате статистического анализа большого объема экспериментальных данных фрактальная размерность могла бы служить адекватной оценкой оптимальности структур композитных материалов. Фрактальный анализ структуры цементного композита показал, что неоднородность в виде пор и включений частиц наполнителя формирует фрактальный кластер. Следовательно, в качестве начального (частного) фрактала, по подобию которого формируется структура композита, можно принять ячейку квадратной формы с включением в центре (рис. 5).

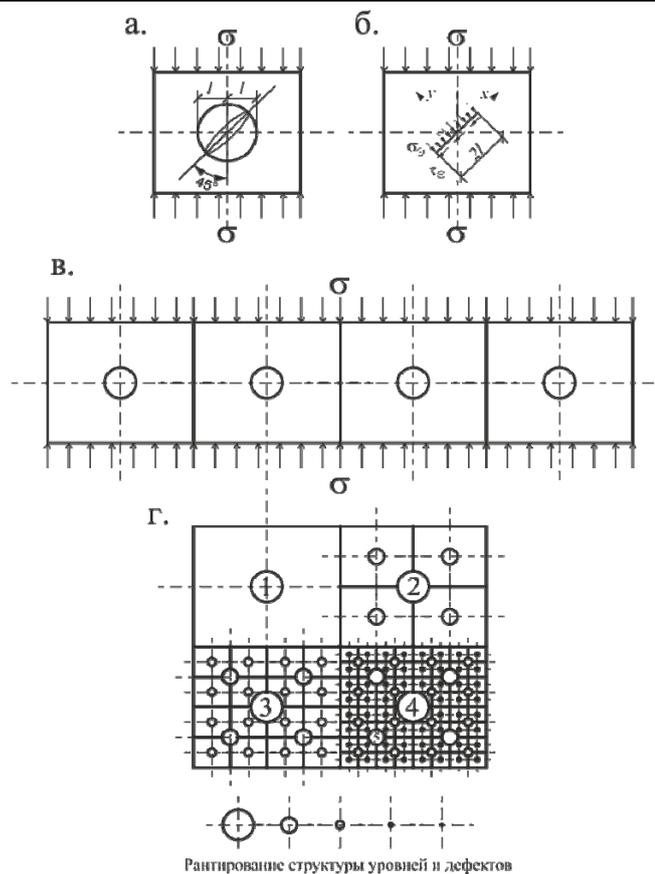


Рис. 5. Фрактальная модель структуры бетона:  
 а – превичный фрактал; б – расчетная модель фрактала;  
 в – цепочный фрактал; г – плоский фрактал;  
 1, 2, 3, 4, 5 – уровни структуры

Экспериментально установлено, что основная часть дефектов в виде микрочастиц располагается в зоне контакта поверхности зерен заполнителя с матрицей – цементным камнем или раствором [1, 2, 6]. Поэтому длину микротрещины, развитием которой инициируется процесс разрушения, можно принять соизмеримой с диаметром включения – поры или заполнителя. Ориентация оси микротрещины относительно вертикали произвольная.

Тогда расчетная модель фрактала может быть представлена в виде элемента с трещиной длиной  $2l$ , расположенной под углом к вертикальной оси. Фракталы в структуре образуют кластеры различного вида (см. рис. 5).

Механика силового разрушения бетона под нагрузкой явление достаточно сложное и должно рассматриваться на различных масштабных уровнях структуры. Принято [1, 2, 6, 8] выделять в структуре бетона три масштабных уровня: макроструктуру (уровень структуры цементного камня), мезоструктуру (уровень структуры цементно-песчаного раствора) и макро-структуру (уровень структуры конгломератного типа – бетон с крупным заполнителем). Разрушение структуры зарождается на микроуровне как локальный акт продвижения микротрещины до точки бифуркации, в которой находится пора или зерно наполнителя, и в устье трещины происходит сброс критической плотности энергии.

В точке бифуркации возможно ветвление, изменение механизма и направления развития трещины разрушения. На пути продвижения трещины разрушения может быть несколько точек бифуркации, поэтому излом приобретает древовидную форму (рис. 6а).

Технологические дефекты структуры имеют случайное расположение в объеме матрицы и на поверхности заполнителя, а также случайные по величине размеры

см. рис. 6). Поэтому локализация зарождения активной трещины возможна в любой точке объема.

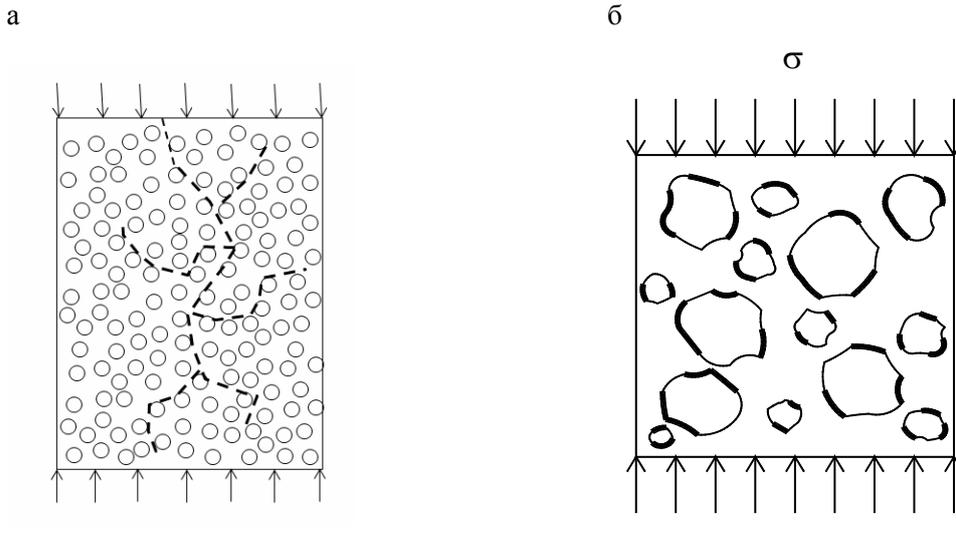


Рис. 6. Распределение дефектов на поверхности заполнителя

Можно предположить, что каждому классу бетона по прочности на сжатие или растяжение соответствуют дефекты, размеры которых характерны для данной технологии. Локальное разрушение зарождается в области дефекта, ориентация которого относительно силовых линий является наиболее опасной. Теоретический анализ показывает, что при действии сжимающих нагрузок ось опасной трещины располагается под углом  $45^\circ$  к силовым линиям [8,9]. Но эти трещины начинают развиваться при определенном уровне нагрузки. Остальные трещины под действием сжимающих нагрузок могут частично или полностью захлопнуться. Эти процессы отражаются на диаграмме деформирования.

Этапы эволюции диаграмм деформирования (диаграммы « $\sigma$ – $\epsilon$ ») и разрушения бетона (рис.7) хорошо отражены и описаны в работе О.Я. Берга [10].

На первом этапе при действии малых сжимающих напряжений происходят разуплотнение структуры, раскрытие и закрытие (схлопывание) трещин, наименее устойчивых рыхлых дефектов. Поэтому начальный участок диаграммы состояний бетона пологий и может иметь обратную кривизну. Время прохождения ультразвука через бетон увеличивается и затем, пройдя через экстремум, уменьшается (см. рис. 7).

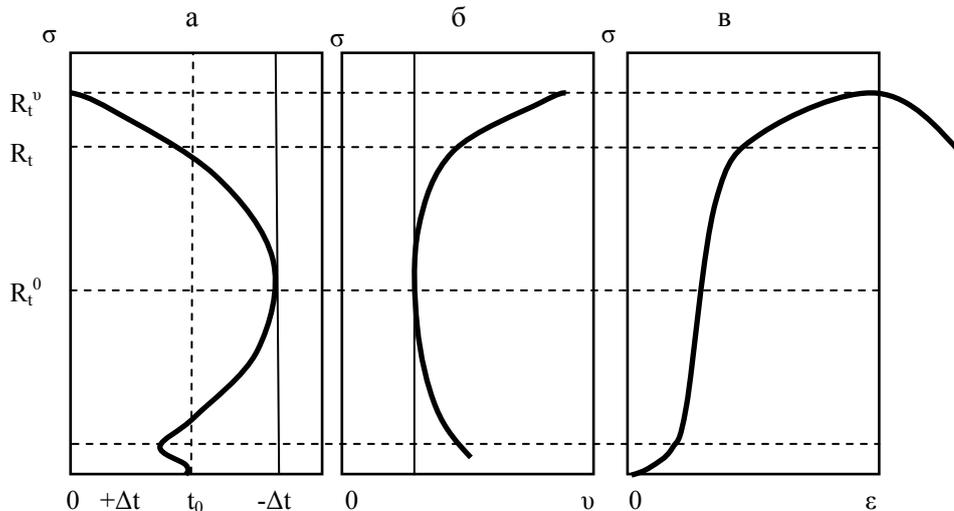


Рис.7. Изменение характеристик деформирования бетона при испытании на сжатие: а – диаграмма состояний по результатам ультразвуковых наблюдений; б – кривая изменения дифференциального коэффициента поперечной деформации; в – диаграмма деформирования

На втором этапе происходит накопление энергии разрушения без разрывов структуры материала, что соответствует линейному участку диаграммы деформирования. Время прохождения ультразвука через бетон уменьшается до второго экстремума, которому соответствует напряжение  $\sigma = R_T^0$ , по Бергу – первая параметрическая точка, граница начала процесса микроразрушений.

Третий этап на диаграмме деформирования начинается от первой параметрической точки и представлен нелинейным участком, что объясняется разуплотнением структуры, зарождением очагов локального разрушения, формированием точек бифуркации и магистральной трещины. Рост магистральной трещины (трещины разрушения) на четвертом этапе может сдерживаться, что на диаграмме деформирования выражается ниспадающей ветвью. На третьем и четвертом этапах скорость прохождения ультразвука уменьшается, что подтверждает развитие процесса разуплотнения структуры.

Современное цифровое оборудование для испытаний бетона на сжатие дает возможность фиксировать изменение соответствующих сил и деформаций в процессе нагружения с интервалом в десятые доли минуты и секунды. В результате испытаний записывается диаграмма деформирования, которая имеет вид, не характерный для стандартных испытаний (рис.8). Из графика на рис. 8 видно, что процесс монотонного нарастания деформаций и усилий, воспринимаемых образцом, сопровождается дискретными актами повышения и падения усилий. На наш взгляд, дискретные всплески уровня усилия, воспринимаемого материалом образца, можно объяснить дискретным характером роста трещин, что приводит к фрактальному строению диаграммы деформирования. Факт дискретного роста трещины был отмечен в процессе испытания металлов динамической нагрузкой, что проявлялось в локальном продвижении трещины на минимальную критическую длину.

Диаграмма зависимости напряжений от деформаций при скорости загрузки образца 0.500 мм/мин

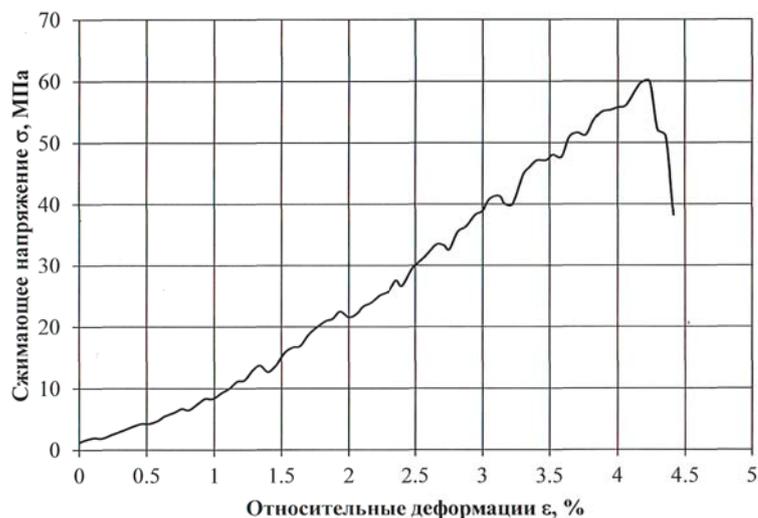


Рис. 8. Диаграмма зависимости напряжений от деформаций

В.В. Новожиловым предложено минимально возможный прирост усталостной трещины за цикл нагружения называть «квантом» разрушения [11]. С.Е. Гуревич показал, что для сталей квант разрушения равен четырем атомным радиусам (около 0,5 нм). Квант разрушения для бетона как мера минимально возможного скачка трещины в процессе нагружения должен быть соизмерим с расстоянием между дефектами структуры (порами, заполнителями), которые выполняют роль демпферов, поглощающих часть энергии роста трещины [12].

Дискретный характер разрушения бетона под действием статической сжимающей нагрузки можно представить на модели в виде призмы (пластины), которая имеет дефекты структуры – поры, отверстия, включения заполнителя, случайным образом

распределенные по объему (рис. 9). Пусть в объеме пластины имеется дефект с начальной длиной  $l_0$ , который при определенном уровне нагружения и нужной ориентации в пространстве начинает развиваться. Ранее было установлено [8,9], что под действием сжимающих нагрузок рост трещины будет происходить по оси, расположенной под углом  $45^0$  к силовым линиям, растягивающих –  $90^0$ .

С увеличением уровня нагрузки в кончике трещины накапливается плотность энергии, достаточная для её роста до встречи с первым дефектом, который демпфирует энергию продвижения трещины. С дальнейшим повышением нагрузки возможны бифуркационный рост трещин, её развитие в новом направлении, раздвоение или разветвление до встречи с новым демпфером. В предложенной модели квант разрушения будет соизмерим с расстоянием между точками бифуркации и его величину можно определить из анализа строения линии излома при испытании бетонных призм на сжатие.

Дискретное бифуркационное развитие трещины от начального  $l_0$  размера будет происходить до тех пор, пока фрактальная длина трещины не достигнет критической величины  $l_k$ , начиная с которой рост трещины продолжается без увеличения нагрузки (энергии). Для дискретного развития трещин количество дефектов, их плотность распределения по объему должны быть достаточными для самоторможения, иначе начнет развиваться одна магистральная трещина и разрушение будет хрупким.

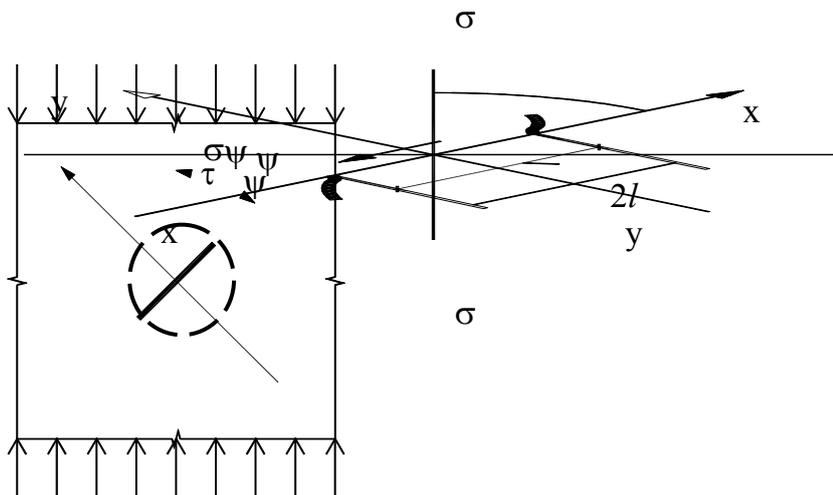


Рис. 9. Расчетная схема сжатого элемента с трещиной

Рассмотрим разрушение элемента микроструктуры с прямолинейной наклонной трещиной под действием сжимающих напряжений  $\sigma$ . Разложим сжимающие напряжения  $\sigma$  на нормальные  $\sigma_\psi$  и касательные  $\tau_\psi$  к плоскости трещины:

$$\sigma_\psi = \sigma \sin^2 \psi; \tau_\psi = \sigma \cos \psi \sin \psi = 0,5 \sigma \sin 2\psi. \quad (1)$$

Следовательно, разрушение структурного элемента будет происходить под действием напряжений  $\tau_\psi$ , а напряжения  $\sigma_\psi$  будут препятствовать разрушению, увеличивая трение между поверхностями трещины. С учетом сил трения  $\gamma \sigma_\psi$ , по теории Кулона – Навье, разрушение произойдет в том случае, когда касательные напряжения, действующие в плоскости трещины, достигнут величины, которая определяется формулой

$$\tau_\psi = S_0 + \gamma \sigma_\psi, \quad (2)$$

где  $S_0$  – когезионная прочность матрицы при сдвиге;  $\gamma$  – коэффициент трения.

Прочность при сдвиге  $S_0$  можно определить из формулы  $k_2 = \sqrt{\pi l_0} \tau f_{2k}$  с учетом того, что  $f_{2k} = 0,5 \sin 2\psi$ . После преобразований и с учетом  $f_{2k}$  получаем:

$$\tau = S_0 = \frac{k_2}{\sqrt{\pi l_0} f_{2k}} = \frac{k_2}{\sqrt{\pi l_0} 0,5 \sin 2\psi}. \quad (3)$$

Тогда, подставив в формулу (2) значения  $\sigma_\psi$ ,  $\tau_\psi$  и  $S_0$ , получим:

$$\sigma_c = \frac{k_2}{\sqrt{\pi l_0} (0,5 \sin 2\psi - \gamma \sin^2 \psi) 0,5 \sin 2\psi}. \quad (4)$$

Анализ формулы (4) показывает, что наиболее опасная трещина в бетоне располагается под углом  $\psi = 45^\circ$ . Тогда прочность на сжатие будет определяться из выражения

$$\sigma_c = \frac{k_2}{\sqrt{\pi l_0} (0,5 - 0,5\gamma) \cdot 0,5} = \frac{4k_2}{\sqrt{\pi l_0} (1 - \gamma)}. \quad (5)$$

Поделив функцию (5) на функцию прочности при растяжении, равную [10, 12]  $\sigma_p(l_0) = k_1 / \sqrt{\pi l_0}$ , получим выражение, из которого следует, что прочность бетонов на сжатие больше прочности на растяжение и это соотношение прочностей зависит от коэффициента трения:

$$\frac{\sigma(l_0)}{\sigma_p(l_0)} = \frac{4}{1 - \gamma} \frac{k_2}{k_1}. \quad (6)$$

Брейс предложил отношение прочностей при сжатии и растяжении выражать функцией вида:

$$\frac{\sigma_c(l_0)}{\sigma_p(l_0)} = \frac{4}{(1 + \gamma^2)^{\frac{1}{2}} - \gamma}. \quad (7)$$

Известен критерий Кулона – Навье, согласно которому отношение прочностей описывается формулой вида:

$$\frac{\sigma_c(l_0)}{\sigma_p(l_0)} = \frac{(\gamma^2 + 1)^{\frac{1}{2}} + \gamma}{(\gamma^2 + 1)^{\frac{1}{2}} - \gamma}. \quad (8)$$

Многочисленные экспериментальные исследования показали, что коэффициент трения для горных пород находится в пределах от 0,1 до 1,0 [3]. На кафедре строительных конструкций МГУ им. Н.П. Огарева экспериментально установлено, что величина коэффициента трения бетона о бетон зависит от прочности бетона на сжатие (табл. 2).

Известно, что отношение прочности на сжатие к прочности на растяжение для цементных бетонов колеблется в пределах от 7 до 20, для полимербетонов – от 5 до 15, для горных пород – от 10 до 50 (см. рис. 8).

В табл. 3 приведены значения  $\sigma_c/\sigma_p$ , полученные путем вычислений по формулам (6), (7), (8) при изменении коэффициента трения в пределах от 0 до 1,0.

Коэффициент трения скольжения «бетон – бетон» по экспериментальным данным

Класс бетона		B25	B30	B40	B50
		Груз, кг			
0		0,502	0,551	0,592	0,624
3		0,521	0,603	0,613	0,675
5		0,528	0,617	0,620	0,679
8		0,528	0,618	0,626	0,679
Среднее		0,520	0,597	0,613	0,664
$\frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{\sigma_c}{\sigma_p}$ (СНиП)		11,36	12,22	13,81	15,65
$\frac{4K_2}{K_1(1-\gamma)}$	$\frac{K_2}{K_1 = 1,35}$	11,25	13,5	14,02	15,42
	$K_2 = K_1$	8,33	10	10,4	11,4

Т а б л и ц а 3

Расчетные значения  $\sigma_c/\sigma_p$ , полученные по формулам (6), (7) и (8)

№ п/п	Определение $\sigma_c/\sigma_p$	Значения коэффициента трения $\gamma$					
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	8	1	1.49	2.18	3.1	4.3	6
2	7	4	4.88	5.88	7.0	8.33	10
3	6	4	5	6.7	10	20	$\infty$

Расчетные данные, представленные в табл. 3, позволяют сделать вывод о том, что формула (6) при изменении  $\gamma$  в пределе от 0 до 1 достоверно отражает зависимость соотношения прочностей  $\sigma_c/\sigma_p$  от коэффициента трения, что косвенно подтверждает адекватность предложенной модели разрушения бетона при сжатии, основанной на предположении, что при сжатии разрушение происходит путем среза.

Выводы:

1. Структура цементного бетона имеет иерархическое строение, организованное по принципу «структура в структуре», «блок в блоке»; она фрактальна, так как состоит на разных масштабных уровнях из частей, которые подобны целому. Объективной оценкой подобия структур на различных масштабных уровнях является фрактальная размерность, величина которой зависит от степени наполнения.

2. Дефекты структуры зерна наполнителя, поры, раковины образуют фрактальную систему на различных масштабных уровнях, которая оказывает и определяет дискретно-непрерывный механизм разрушения бетона.

3. Процесс силового разрушения бетона зарождается на микроуровне как дискретный акт продвижения первичной микротрещины до точки бифуркации, которая является дефектом структуры в виде зерна наполнителя или поры. Непрерывный процесс разрушения на макроскопическом масштабном уровне складывается из дискретных актов разрушения на микро масштабном уровне.

4. Фрактальность строения структуры бетона наиболее ярко отражается на диаграмме деформирования в виде дискретных волн подъема и падения усилия в процессе нарастания деформации.

5. Считалось, что цементный бетон и при сжатии, и при растяжении сопротивляется разрушению связей путем отрыва. Однако из анализа фрактальной модели разрушения следует, что при растяжении бетон разрушается путем отрыва, а при сжатии – среза.

## Список литературы

1. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: РААСН, 2001. – 223 с.
2. Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 152 с.
3. Mandelbrat, B.B. The fractal geometry of nature / B.B. Mandelbrat. – N.Y.: Freeman, 1983. – 480 p.
4. Садовский, М.А. О свойствах дискретности горной породы / М.А. Садовский, Л.Г. Болховитинов, В.Ф. Писаренко // Изв. АН СССР. Физика земли. – 1982. – №12. – С. 3–18.
5. Скоробогатов, С.М. Катастрофы и живучесть железобетонных сооружений (классификация и элементы теории) / С.М. Скоробогатов. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – 512 с.
6. Зайцев, Ю.В. Моделирование деформации и прочности бетона методами механики разрушения. – М.: Стройиздат, 1982. – 196 с.
7. Чернышев, Е.М. Развитие теории системно-структурного материаловедения и высоких технологий строительных композитов нового поколения / Е.М. Чернышев // Строительные материалы. – 2011. – №7. – С. 54–60.
8. Selyaev, V.P. Physical bases of materials strength with the structure of conglomerate type / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin // N. Science, Technology and Higher Education. – Westwood, Canada, 11-12 December 2012. – P. 523–531.
9. Селяев, В.П. Влияние сил трения на прочность бетона / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №3. – С. 12–17.
10. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.
11. Новожилов, В.В. О перспективах построения критерия прочности при сложном нагружении / В.В. Новожилов, О.Г. Рыбакина // Прочность при малом числе циклов нагружения. – М.: Наука, 1969. – 400 с.
12. Гуревич, С.Е. О скорости распространения трещины и пороговых значениях коэффициента интенсивности напряжений в процессе усталостного разрушения / С.Е. Гуревич, Л.Д. Едидович // Усталость и вязкость разрушения металлов. – М.: Наука, 1974. – 298 с.

## References

1. Solomatov, V.I. Chemical resistance of materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev, Y.A. Sokolova. – 2nd ed., Pererab.i additional. – M.: RAASN, 2001. – 223 p.
2. Selyaev, V.P. Chemical resistance of filled cement composites / V.P. Selyaev, V.I. Solomatov, L.M. Oshkina. – Saransk: Publishing house Mordov. un-ta, 2001. – 152 p.
3. Mandelbrat, B.B. The fractal geometry of nature / B.B. Mandelbrat. – N.Y.: Freeman, 1983. – 480 p.
4. Sadovsky, M.A. On properties of discrete rock / M.A. Sadovsky, L.G. Bolkhovitinov, B. F. Pisarenko // Math. USSR Academy of Sciences. Physics of the Earth. – 1982. – №12. – P. 3–18.
5. Skorobogatov, S.M. Disaster and vitality of reinforced concrete structures (classification and elements of the theory) / S.M. Skorobogatov. – Yekaterinburg: USURT, 2009. – 512 p.
6. Zaitsev, Y.V. Modeling of deformation and strength of concrete methods of fracture mechanics / Y.V. Zaitsev. – M.: Stroyizdat, 1982. – 196 p.
7. Chernyshev, E.M. Development of the theory of system-structural materials science and high-tech composite construction of a new generation / E.M. Chernyshev // Construction Materials. – 2011. – №7. – P. 54–60.

8. Selyaev, V.P. Physical bases of materials strength with the structure of conglomerate type. H. Science, Technology and Higher Education / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin. – Westwood, Canada. 11-12 December, 2012. – P. 523–531.

9. Selyaev, V.P. Influence of friction forces on the strength of concrete / V.P. Selyaev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2012. – №3. – P. 12–17.

10. Berg, O.J. High-strength concrete / O.J. Berg, E.N. Shcherbakov, G.N. Pisanko. – M.: Stroyizdat, 1971. – 208 p.

11. Novozhilov, V.V. About prospects of creation of criterion of durability at complex loadings / V.V. Novozhilov, O.G. Rybakina // Durability at a small number of cycles of loading. – M.: Science, 1969. – 400 p.

12. Gurevich, S.E. About the speed of distribution of a crack and threshold values of coefficient of intensity of tension in the course of fatigue failure / S.E. Gurevich, L.D. Edidovich // Fatigue viscosity of destruction of metals. – M.: Science, 1974. – 298 p.

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

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

**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

**Сорокин Дмитрий Сергеевич,**  
студент  
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

**Sorokin Dmitry Sergeevich,**  
student  
E-mail: fmatem@pguas.ru

## ЛОГИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИ СИНТЕЗЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Д.С. Сорокин

Рассматривается построение логико-методологических моделей при анализе и синтезе сложных систем. Указываются основные ошибки при построении диагностической концепции (неправильная логическая схема, устанавливающая связь основных факторов с диагностическим заключением). Рассматривается и модель диагноза, основанная на правдоподобных рассуждениях (на аналогии). Производится диагностика с учетом вероятностных связей. Приводится приложение к построению когнитивной карты (орграф) для синтеза материалов специального назначения.

*Ключевые слова: композиционные материалы, синтез, диагностика свойств, синергия, логико-методологические модели, когнитивная карта*

## SYNTHESIS OF COMPOSITES: LOGICAL AND METHODOLOGICAL MODELS

A.M. Danilov, I.A. Garkina, D.S. Sorokin

Logical and methodological models used in the analysis and synthesis complex systems are considered. The main errors in the construction of the diagnostic concept (incorrect logic scheme that establishes a connection of the main factors with diagnostic conclusion) are identified. The diagnosis model based on plausible reasoning (on the analogy) are considered. Diagnosis based on probabilistic relations is provided. An application to construction of cognitive map (digraph) for the synthesis of special purpose is given.

*Keywords: composite materials, synthesis, properties diagnostics, synergy, logical and methodological models, cognitive map*

Диагностические познания представляют собой процесс становления определённого знания. Выделяются следующие специфические особенности диагностики: сложность объекта познания (многомерность, многосвязность); дефицит времени диагностики; неполнота диагностической информации; сложность диагностической интерпретации анализируемых факторов. Относительный и вероятностный характер

диагностической информации обуславливает необходимость использования методов как конкретного, так и абстрактно-логического познания, когда каждый новый логический этап продолжает предыдущий и служит исходной предпосылкой для него.

Основной вопрос, на который следует дать ответ при диагностике: как, каким образом наиболее оптимально осуществлять формирование навыков диагностического поиска, то есть установление абстрактного образа диагностируемого класса (в медицине – нозологическая единица, в статистической теории распознавания образов – эталон класса). Указанный абстрактный образ нельзя путать с индивидуальным диагнозом, определяющим индивидуальные особенности объекта или процесса (в медицине – клинический диагноз; нозологический диагноз не позволяет прогнозировать особенности течения процесса – болезни у конкретного пациента, но является основой для клинического диагноза). Как видим, процесс распознавания осуществляется поэтапно от факторов к группе факторов, а далее к классу (в медицине – от симптомов к синдромам и далее к нозологической единице). В общем случае следует помнить, что не всякая группа факторов даёт специфическую совокупность внутренне взаимосвязанных факторов, присущих данному классу. Так, в медицине указанной совокупности соответствует синдром, характеризующий одну из сторон сущности распознаваемой болезни; степень схватывания композиционного материала, остаточная прочность и т.д. – в строительном материаловедении.

Наиболее сложен именно семиотический анализ по достоверности и специфичности факторов. Ясно, что непротиворечивые выводы, не зависящие от смыслового содержания высказываний, могут быть выражены лишь в их логической форме. Поэтому, естественно, в основе диагностики должна лежать логико-методологическая модель. При этом *создание информативных, экспертных, специальных диагностических систем, ставка на компьютеризацию обречены на провал, если в основе лежат ошибочные логико-математические модели*. Основные ошибки при построении диагностической концепции связаны с неправильной логической схемой, устанавливающей связь ключевых факторов с диагностическим заключением (в строительном материаловедении – возможность получения ложной связи в когнитивной карте [1]; в медицине – не изменяющиеся во времени симптомы, которые могут выступать фоном для симптомов, подвергающихся динамике). Так, естественно приходим к постановке задач экспертизы и диагностики, а также к решению связанных с ними вопросов построения логико-методологических моделей.

Рассмотрим простую *модель диагностики*. Пусть, например, имеется конечный перечень результирующих характеристик материала  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . Они определяются набором свойств. Пусть свойства являются бинарными. Предположим, что имеется конечный набор наблюдаемых свойств  $S_1, S_2, \dots, S_m$ . Так что перед постановкой диагноза возможны два типа знаний: относительно каждого из свойств  $S_1, S_2, \dots, S_m$  известно, обладает ими материал или нет; о связи результирующих  $D_i$  с их проявлениями.

Пусть для определённости имеются только две характеристики  $D_1$  и  $D_2$  (например, гидрофобность и появление грибков) и только три наблюдаемых свойства  $S_1, S_2$  и  $S_3$ . Пусть имеются знания:  $D_1 \rightarrow S_1; D_2 \rightarrow S_2; S_3 \rightarrow D_1 \vee D_2$ . Конъюнкция этих утверждений эквивалентна

$$\begin{aligned} & \bar{D}_1 \& \bar{D}_2 \& \bar{S}_3 \vee \bar{D}_1 \& S_2 \& \bar{S}_3 \vee \bar{D}_2 \& S_1 \& \bar{S}_3 \vee S_1 \& S_2 \& \bar{S}_3 \vee \\ & \vee D_1 \& \bar{D}_2 \& S_1 \vee D_1 \& S_1 \& S_2 \vee D_1 \& D_2 \& S_2 \vee D_2 \& S_1 \& S_2 . \end{aligned}$$

Если у материала наблюдается  $S_1 \& \bar{S}_2 \& S_3$ , то эти данные вместе со сформулированной выше системой знаний в дизъюнктивной нормальной форме дают  $D_1 \& \bar{D}_2 \& S_1 \& \bar{S}_2 \& S_3$  (любую формулу логики высказываний можно привести к дизъюнктивной нормальной форме, т.е. дизъюнкции конъюнкций простых высказываний и их отрицаний; именно это даёт возможность построения абстрактной модели

при диагностике). И отсюда получим искомый результат  $D_1 \& \bar{D}_2$ , т.е. рассматриваемый материал имеет характеристику  $D_1$ , а не  $D_2$ . Конечно, можно было не использовать технику приведения к нормальной форме, а просто построить вывод. Но заметим, что приведённая выше процедура использования нормальных форм даёт процедуру поиска диагноза, тогда как при выводе заранее должны знать, что хотим вывести.

*Не следует думать, что при проведении сформулированной выше процедуры всегда можно получить однозначный ответ. При тех же знаниях, которые были сформулированы выше, но при других данных о материале можно получить неопределённый ответ.*

Пусть материал характеризуется данными  $S_1 \& \bar{S}_2 \& \bar{S}_3$ . Тогда получим

$$\bar{D}_1 \& \bar{D}_2 \vee \bar{D}_2 \vee D_1 \& \bar{D}_2 \sim \bar{D}_2 \sim D_1 \& \bar{D}_2 \vee \bar{D}_1 \& \bar{D}_2.$$

То есть с определённостью заключаем, что материал не обладает характеристикой  $D_2$ , но вопрос о том, обладает ли он характеристикой  $D_1$ , остаётся открытым. *Требуется привлечь дополнительные знания или провести измерения других характеристик.*

*Возможен случай, когда знания и данные о материале дадут нулевую информацию о его виде.* Пусть у третьего материала наблюдаются свойства  $S_1$  и  $S_2$  и отсутствует свойство  $S_3$ , т.е. имеем

$$S_1 \& S_2 \& \bar{S}_3.$$

При тех же знаниях о зависимостях, которые были сформулированы выше, имеем

$$D_1 \& D_2 \vee D_1 \& \bar{D}_2 \vee \bar{D}_1 \& D_2 \vee \bar{D}_1 \& \bar{D}_2.$$

То есть возможны все случаи, и тем самым диагноз не установлен. *Не хватило информации, чтобы что-либо исключить.*

Предложенная выше абстрактная модель диагноза является дедуктивной. Предпожили, что уже сформировано знание о связях между наблюдаемыми свойствами и характеристиками. С другой стороны, игнорировали персональный опыт диагноста, т.е. его память о ранее установленных положительных или отрицательных диагнозах.

Рассмотрим кратко и *другую модель диагноза*, основанную на правдоподобных рассуждениях и, прежде всего, на аналогии.

Пусть накопили информацию о некотором конечном множестве материалов. Например, допустим, что наблюдались материалы  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , у которых были выявлены свойства  $S_1, S_2, \dots, S_m$ , на основании чего была диагностирована характеристика  $D$ . У материалов  $b_1, b_2, \dots, b_k$  наблюдалось наличие некоторых свойств из группы  $S_1, S_2, \dots, S_m$ , но некоторые из этих свойств отсутствовали, и был сделан вывод об отсутствии характеристики  $D$ . Допустим далее, что у материала наблюдалось присутствие всех свойств  $S_1, S_2, \dots, S_n$ . Поскольку материал  $c$  подобен по этим свойствам материалам  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , то можно заключить, что материал обладает характеристикой  $D$ . *Это типичный пример рассуждения по аналогии.*

Заключение, что  $c$  обладает характеристикой  $D$ , логически не следует из принятых посылок. Это заключение носит только правдоподобный предположительный характер. По мере накопления опыта в памяти сохраняется все больше и больше информации о различных материалах и различных проявлениях их характеристик  $D$ . Может оказаться, что два материала обладают одними и теми же признаками из данного набора, но один обладает  $D$ , а другой – нет. В этом случае *необходимо ввести в рассмотрение дополнительные характеристики, добавив их в исходный набор свойств.* С другой стороны, некоторые характеристики могут оказаться неинформативными. В этом случае они должны быть отброшены (исключены из списка свойств).

Как правило, рассуждение по аналогии протекает на бессознательном уровне. У опытного диагноста вырабатывается схема оценки признаков по степени их информативности для данной характеристики  $D$ .

Абстрактная модель диагноза базируется на значительных идеализациях; возникает вопрос: от каких идеализаций можно отказаться, чтобы сделать модель реалистической?

Прежде всего – от принятой булевости атрибутов. Признак не обязан быть булевым (двухзначным). Если шкала является  $n$ -значной, то в качестве элементарных можно рассматривать  $n$  простых утверждений. При этом конъюнкция любой пары из этой системы утверждений ложна и верна дизъюнкция всех утверждений

$$P_1(a) \vee P_2(a) \vee \dots \vee P_n(a).$$

Далее – учёт вероятностных связей. Выше предполагалось, что общие знания носят достоверный характер; связь между результирующей характеристикой и свойством – детерминистический. Однако в реальности эта связь в большинстве случаев является только вероятностной. Чаще налицо знания не вида «если имеется характеристика  $D_i$ , то имеет место  $S_j$ », а скорее, вида «если имеется характеристика  $D_i$ , то в 97 % имеет место  $S_j$ ». *Использование такого рода знаний позволяет дедуктивно выводить следствия из этих знаний и данных о материале только с определённой степенью вероятности.*

Известно [2], условная вероятность:

$$P(S|D_i) = \frac{P(S \& D_i)}{P(D_i)};$$

последние две вероятности легко вычисляются на основании анализа статистических данных.

Теперь уже можно использовать не только детерминистические связи между характеристиками  $D$  и свойствами  $S$ , но и вероятностные связи. Задача вероятностной диагностики формулируется следующим образом: *как по вероятности свойств относительно результирующей характеристики установить вероятность  $D$  относительно  $S$ .* Это легко сделать с использованием известной *формулы Байеса*.

Далее. Теория вывода, которую даёт исчисление высказываний, недостаточна для математики, да и для обычных рассуждений. Например, из посылок: «Всякое рациональное число есть действительное число», «3 есть действительное число», конечно, можно вывести заключение: «3 есть действительное число». Однако логичность этого рассуждения нельзя установить в исчислении высказываний. Объясняется это тем, что исчисление высказываний ограничивается структурой предложений в терминах предложений-компонентов, а приведённый выше вывод требует анализа структуры предложения в смысле субъекта и предиката, как это делается в грамматике. Иными словами, исчисление высказываний не разделяет предложение на достаточно «тонкие» составляющие для удовлетворения большинства целей. Требуется добавление трех дополнительных понятий: термы, предикаты, кванторы, – с помощью которых можно символизировать многое в обычном и математическом языке, для анализа рассуждений.

Предложенные модели эффективно использовались при составлении когнитивных карт (орграф) для построения моделей ряда композиционных материалов специального назначения (радиационно-защитных, химически стойких) [3...5].

#### 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. Данилов, А.М. Теория вероятностей и математическая статистика с инженерными приложениями / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2010. – 228 с.

3. Бudyлина, Е.А. Моделирование с позиций управления в технических системах / Е.А. Бudyлина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2 (16). – С. 138–142.
4. Системный анализ в строительном материаловедении: монография / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королёв. – М.: МГСУ: Библиотека научных разработок и проектов, 2012. – 432 с.
5. Гарькина, И.А. Опыт разработки композиционных материалов: некоторые аспекты математического моделирования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Известия ВУЗов. Строительство. – 2013. – №8 (656). – С.28–33.

#### 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. Danilov, A.M. Theory of Probability and Mathematical Statistics with engineering applications / A.M. Danilov, I.A. Garkina. – Penza: PGUAS, 2010. – 228 p.
3. Budylina, E.A. Modeling from the positions of management in technical systems / E.A. Budylina, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and construction. – 2013. – № 2 (16). – P. 138–142.
4. Systems analysis in building materials: monograph / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: Moscow State University of Civil Engineering: Library of scientific developments and projects, 2012. – 432 p.
5. Garkina, I.A. Experience in the development of composite materials: some aspects of mathematical modeling / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Proceedings of the universities. Construction. – 2013. – №8 (656). – P.28–33.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

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

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

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

**Полубарова Юлия Владимировна**,  
магистрант

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

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

**Ерофеев Владимир Трофимович**,  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Строительные материалы  
и технологии»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

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

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

**Polubarova Yulija Vladimirovna**,  
Undergraduate

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

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

**Yerofeev Vladimir Trofymovich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Head of the  
department «Building materials and  
technologies»

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, В.Т. Ерофеев, Ю.В. Полубарова

Рассматриваются методологические аспекты комплексного изучения механического поведения цементных композитов при кратковременном статическом нагружении.

*Ключевые слова: механика деформируемого твердого тела, физика твердого тела, прочность, деформативность, трещиностойкость*

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTEGRATED EVALUATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF CEMENT COMPOSITES

I.N. Maksimova, N.I. Makridin, V.T. Erofeev, Yu.V. Polubarova

Methodological aspects of the complex study of the mechanical behavior of cement composites with short-term static loading are discussed.

*Keywords: mechanics of deformable solids, solid-state physics, strength, deformability, fracture toughness*

Как известно, основной задачей современной науки о материалах является создание материалов с определенными свойствами, заранее заданными в некоторых пределах, при минимальных затратах ресурсов.

При всем многообразии композиционных строительных материалов (КСМ) по функциональному назначению их можно разделить на две большие группы: конструкционные и специальные (неконструкционные).

Для КСМ конструкционного назначения, к которым относятся, прежде всего, цементный камень и бетон на его основе, испытывающий в процессе эксплуатации разнообразные внешние воздействия и, прежде всего, механическое нагружение, важна, в первую очередь, конструкционная прочность – как комплексная механическая характеристика, включающая сочетание критериев прочности, надежности и долговечности как материала, так и конструкции на его основе, составляющих основу их качества.

Основными показателями конструкционной прочности бетона в физико-механическом аспекте являются предел прочности и вязкость разрушения, или трещиностойкость. Эти два показателя конструкционной прочности, характеризующие долговечность и надежность бетона, неоднозначно изменяются при изменении структурных параметров композита (свойств цементного камня, характеристик заполнителя, объемного содержания компонентов бетона, границы раздела между компонентами, плотности, однородности, вида добавок и др.).

Из практики известно, что с увеличением прочности бетона растет его долговечность, но одновременно снижается надёжность, то есть трещиностойкость бетона. Другими словами, повышается чувствительность бетона к трещинам. Это противоречивое явление приобретает особую актуальность в связи с использованием в технологии бетона эффективных химических добавок и внедрением на этой основе в строительство бетонов и конструкций повышенной прочности, позволяющих существенно снижать материалоемкость и повышать эффективность строительства [1, 2].

Выбор составляющих бетона для изготовления композита заданных свойств делают на основе их технологических, механических, физических и химических свойств, а определением связи этих свойств с составом и структурой материала и целенаправленным изменением свойств в результате технологического воздействия на структуру и процессы структурообразования занимается материаловедение как обобщающая наука о материалах.

Учение о прочности материалов имеет многовековую историю и в настоящее время развивается в двух основных направлениях: к *первому* из них следует отнести классическую континуальную (непрерывную) механику деформируемого твердого тела (МДТТ), а *второе* направление развивает физика твердого тела (ФТТ).

Континуальный подход Огюстена Коши заключается в замене реального тела воображаемой сплошной средой, непрерывно заполняющей пространство, а подход ФТТ Анри Навье основан на рассмотрении тела как системы взаимодействующих между собой атомов и молекул.

Для описания механического поведения сплошной среды постулируются определяющие или конституционные соотношения (уравнения), позволяющие связать характеристики напряжений и деформаций, получаемых только посредством эксперимента. В МДТТ изучают свойства упругости, пластичности и вязкоупругости. Общим для всех названных свойств является деформируемость реальных твердых тел. И упругость, и пластичность, и вязкоупругость проявляются в деформируемости, изменениях расстояний между частицами тела, изменениях формы и размеров тела.

Одной из основных задач МДТТ является прогнозирование упругих, пластических и вязкоупругих состояний конструкционного материала и конструкции на его основе. Экспериментальные исследования свойств материалов позволяют установить количественные соотношения между напряжениями и деформациями, их скоростями, а также интегральными и дифференциальными характеристиками в упругом, упругопластическом и вязкоупругом состояниях. Опытным путем устанавливаются и предельные условия – условия упругого состояния, условия пластичности, условия разрушения, условия прочности и т.д. Опытные данные позволяют судить о прочности, надежности, долговечности материала при известных условиях внешней среды, получить условия оптимизации состояния по тем или иным параметрам.

Партон В.З. отмечает, что континуальный подход или модель сплошной среды считается пригодной для расчета процессов в некоторых реальных телах, если результаты этого расчета с достаточной точностью соответствуют результатам макроскопического эксперимента, в ходе которого измеряются механические величины, входящие в определяющие уравнения. Такой подход или модель называются *феноменологическими*. И они составляют основу МДТТ.

МДТТ – одна из фундаментальных естественных наук, служит основой многочисленных практических рекомендаций и количественных соотношений, позволяющих, с одной стороны, судить о прочности, надежности и долговечности материала при известных условиях внешней среды и получить условия оптимизации состояния по тем или иным механическим параметрам, а с другой, – использовать их при расчетах и проектировании технических изделий и технологии их производства.

Подход ФТТ, в отличие от чисто механического подхода (МДТТ), рассматривает разрушение тел под нагрузкой не как критическое событие, а как временной процесс постепенного накопления разорванных связей. С точки зрения ФТТ, механическая сила, приложенная к образцу, не разрывает связей между атомами, а лишь деформирует и возбуждает их, подготавливая к разрыву. Разрыв же осуществляется термическими флуктуациями за счет энергии теплового движения, как это показано в работах акад. С.Н. Журкова и его школы. Процесс разрушения физического твердого тела под нагрузкой приобретает статистический характер. Таким образом, с позиций ФТТ процесс разрушения твердых тел под нагрузкой можно разделить на стадии: 1) возмущение межатомных связей под влиянием механической нагрузки; 2) разрыв механически возбужденных связей термофлуктуациями, создаваемыми движением; 3) накопление разорванных связей в нагруженном теле, которое и приводит к разделению твердого тела на части.

В исследованиях последних лет по определению сопротивления цементных систем механическому разрушению достигнут определенный прогресс благодаря разработке методов механики разрушения – относительно нового направления в механике деформируемого твердого тела, лежащего на стыке с материаловедением и физикой разрушения, включающего в себя ту часть науки о прочности материалов и конструкций, которая связана с изучением несущей способности тела с учетом начальных трещин, а также с изучением различных закономерностей их развития. В исследованиях проф. Берга О.Я., Гвоздева А.А., Зайцева Ю.В., Гузеева Е.А. и их школ заложены основы теории деформации и прочности цементного камня и бетона, исходящей из физической сущности процесса трещинообразования и разрушения. Эти исследования базируются на концепции Гриффитса – Орована – Ирвина, дополненной Дж. Гордоном.

Гриффитс А. сформулировал два основных условия, при которых возможен рост трещины: 1) рост трещины должен быть энергетически выгодным процессом, то есть ее распространение должно сопровождаться уменьшением полной энергии – упругая энергия деформируемого тела плюс потенциальная энергия системы нагружения; 2) необходимо также, чтобы мог реализоваться некоторый физический процесс, благоприятствующий протеканию микромеханизма преобразования энергии деформации в поверхностную энергию (энергию новых поверхностей). Таким механизмом для хрупких материалов является концентрация напряжений в вершине трещины.

Ирвин Ж. предложил критерий трещиностойкости  $K$ , называемый коэффициентом интенсивности напряжений в вершине трещины. Критерий  $K$  для наиболее жесткого нагружения (плоская деформация растяжением) обозначают  $K_1$ , а при достижении критического значения, когда стабильная трещина переходит в нестабильную, –  $K_{1C}$ .

Критерий  $K_{1C}$  показывает, какого значения (интенсивности) достигает напряжение вблизи вершины трещины в момент разрушения. Он связывает приложенное среднее напряжение с критической длиной трещины:

$$K_{1C} = \sigma_{cp} \sqrt{\alpha \pi l_{kp}},$$

где  $\alpha$  – безразмерный коэффициент, характеризующий геометрию трещины.

Для острой трещины в хрупком материале критерий  $K$  охватывает оба основных условия разрушения. Условия развития физического процесса автоматически удовлетворяются в континуальной модели из-за «бесконечности» напряжения (рис. 1), а в более реалистической модели – благодаря тому, что при разрушении в вершине трещины всегда существует рвущая связь (рис. 2).

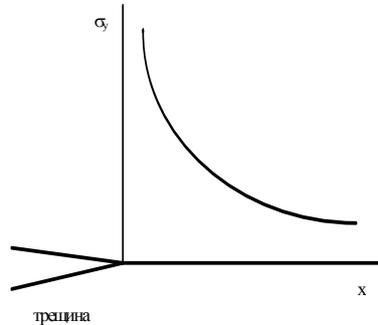


Рис. 1. Упругое напряжение  $\sigma_y$  при вершине трещины, по Д. Брокку

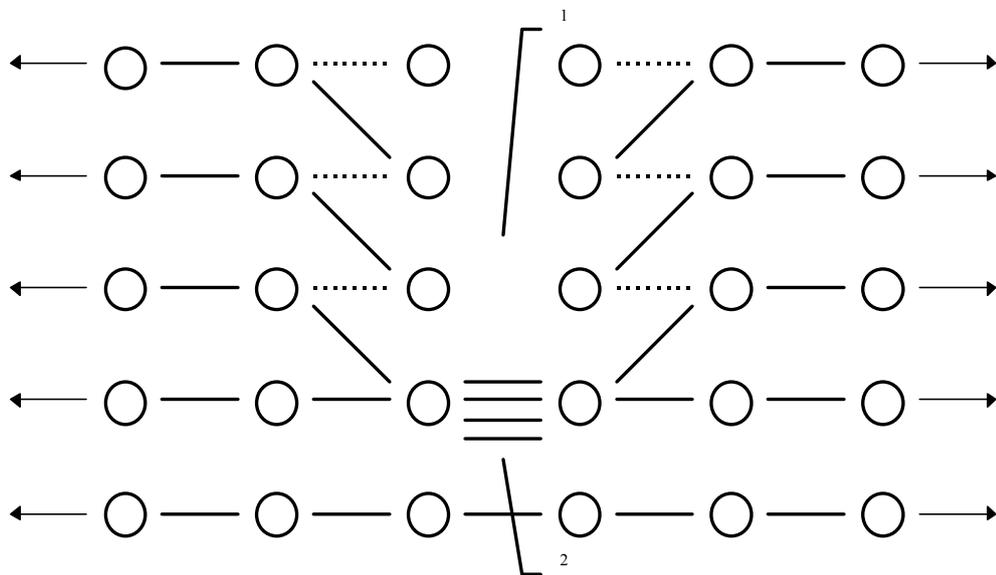


Рис. 2. Возникновение концентрации напряжений у кончика трещины, по Дж. Гордону:  
1 – трещина; 2 – перегруженная атомная связь

В структурной механике разрушения материалов, основанной на более реалистической модели твердого тела, характеризующейся наличием рвущейся связи в вершине трещины разрушения, фундаментальная роль критерия трещиностойкости отведена структурному параметру материала, выраженному коэффициентом интенсивности напряжений  $K$  [3, 4], что обуславливает постановку широких экспериментальных исследований по определению параметра трещиностойкости  $K_{IC}$ , выявлению влияния на его величину свойств и характеристик компонентов и состава бетонной смеси.

Теоретической основой современного строительного материаловедения как прикладной науки о связи технологии, состава, структуры и свойств композитных цементных материалов и целенаправленном изменении свойств в результате воздействия на структуру являются соответствующие разделы таких дисциплин, как физико-химическая механика дисперсных (гетерогенных) систем, физическая химия поверхностных явлений, теория контактных взаимодействий, механика деформируемых твердых тел и структурная механика разрушения материалов.

Однако в основе развития науки о композиционных строительных материалах (КСМ), технологии их производства, расчёта и конструирования лежат методы испытаний. Основной целью испытания материалов, как известно, является описание их свойств по характерным признакам и выражение этих признаков в количественной форме в виде определенных параметров, которые лежат в основе разработки и создания теории деформативности и прочности, в частности, бетонов, и в основе методов расчета конструкций и выбора конструкционных материалов для какой-либо определённой цели. В этой связи мера достоверности теории полностью зависит от идейной полноценности и точности эксперимента, положенного в ее основу, и от адекватного отображения результатов этого эксперимента в математическом аппарате теории через определяющие уравнения. Полная и действенная программа оценки материалов должна давать информацию, необходимую для прогнозирования с достаточной точностью срока службы и вероятности их разрушения с учетом всех факторов, влияющих на возможное поведение материала при эксплуатации [5].

Поскольку между структурой и параметрами механики разрушения существует тесная физическая связь, то можно найти новые более дифференцированные и очень эффективные характеристики поведения материалов под нагрузкой, поэтому методы механики разрушения все шире начинают применять для оценки качества конструкционных материалов и оптимизации их механических свойств.

Современное развитие структурной механики разрушения материалов позволило установить научные принципы оценки материалов и методов испытания и предложить в совокупности силовые, деформационные и энергетические критерии, определяющие действительные предельные состояния их структуры по трещиностойкости, деформативности и прочности и тем самым позволяющие точнее прогнозировать механическое поведение и работоспособность конструкционного материала под нагрузкой.

Проблема качества бетонов приобретает особую остроту и актуальность в современных экономических условиях, характеризующихся, с одной стороны, увеличением стоимости энергетических и материальных ресурсов, а с другой, недостаточной изученностью механического поведения бетонов в связи с интенсивной разработкой и практическим внедрением в строительную практику так называемых бетонов нового поколения высокой и особо высокой прочности, для которых оценка действительных предельных состояний структуры приобретает особую научную и практическую значимость, так как из механики материалов известно, что высокопрочные материалы обладают малой трещиностойкостью (вязкостью разрушения) и остаточной прочностью при наличии дефектов структуры. Перед современным строительным материаловедением стоит задача не только создания бетонов высокой и сверхвысокой прочности, но и реализации основной идеи композитных материалов, заключающейся в соединении высокой прочности с хорошей трещиностойкостью.

Одним из путей дальнейшего выяснения природы механического поведения бетона под нагрузкой может служить новый подход к проблеме прочности, в основе которого лежит детальное изучение самого процесса зарождения и развития трещин с позиций физики и механики разрушения с использованием метода акустической эмиссии, основанного на регистрации ультразвуковых сигналов, возникающих в материале при его растрескивании под действием силовых напряжений, так как исходное положение механики разрушения материалов заключается в том, что разрушение всегда есть следствие развития трещин, возникших либо до приложения напряжений, либо в процессе нагружения.

Поэтому изучение и разработка процессов структурообразования цементного камня и бетонов на его основе и новых методов оценки свойств их структуры и механического поведения под нагрузкой имеет важное значение и будет способствовать развитию науки о бетоне.

Таким образом, нами изложены методологические аспекты комплексной оценки механического поведения цементных композитов при кратковременном статическом нагружении с целью определения деформационных эффектов на кривой осевого сжатия при изучении деформаций упругости, пластичности и вязкоупругости с

позиций МДТТ сплошной среды, а также оценки силовых, энергетических и деформационных характеристик трещиностойкости – с позиций структурной механики разрушения с учетом более реалистичной модели материала, позволяющие получить более системную информацию для идентификации определяющих характеристик и параметров сопротивления разрушению.

Углубление физических представлений по данным вопросам позволит реализовать материаловедческое обеспечение прогностической оценки предельных состояний структуры и улучшение качества конструкционного бетона и, тем самым, повышение надежности, долговечности и экономической эффективности конструкций и сооружений на его основе, что является весьма актуальной задачей современного строительного материаловедения.

#### Список литературы

1. Калашников, В.И. Высокопрочные и особо высокопрочные бетоны с дисперсным армированием / В.И. Калашников, С.В. Ананьев // Строительные материалы. – 2009. – №6. – С. 59–61.
2. Калашников, В.И. Промышленность неметаллических строительных материалов и будущее бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С. 20–23.
3. Карпенко, Н.И. Экспериментальное определение физико-механических свойств и параметров механики разрушения ультравысокопрочных бетонов / Н.И. Карпенко, Ю.В. Зайцев, Г.Э. Окольникова, А.А. Андрианов // Научные труды РААСН. Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2011 году. – Москва – Орел. – 2011. – С. 242–248.
4. Карпенко, Н.И. Экспериментальное определение параметров механики разрушения высокопрочных бетонов / Н.И. Карпенко, Ю.В. Зайцев, Г.Э. Окольникова, А.А. Андрианов, А.В. Погосян // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – №3. – С. 553–558.
5. Макридин, Н.И. Структурообразование и конструкционная прочность цементных композитов / Н.И. Макридин, Е.В. Королев, И.Н. Максимова. – М.: МГСУ, 2013. – 152 с.

#### References

1. Kalashnikov, V.I. High-strength and particularly high-strength concrete with dispersed reinforcement / V.I. Kalashnikov, S.V. Anan'ev // Building materials. – 2009. – №6. – P. 59–61.
2. Kalashnikov, V.I. Non-metallic building materials industry and future of concrete / V.I. Kalashnikov // Building materials. – 2008. – №3. – P. 20–23.
3. Karpenko, N.I. Experimental determination of mechanical properties and fracture mechanics parameters of ultrahigh-strength concretes / N.I. Karpenko, Yu.V. Zaycev, G.E. Okol'nikova, A.A. Andrianov // Scientific works of RAASN. Basic research on scientific development of RUSSIAN ACADEMY of architecture, city planning and construction industry in 2011. – Moskow – Orel. – 2011. – P. 242–248.
4. Karpenko, N.I. Experimental determination of fracture mechanics parameters of high-strength concrete / N.I. Karpenko, Yu.V. Zaycev, G.E. Okol'nikova, A.A. Andrianov, A.V. Pogosyan // Academia. Architecture and construction. – 2010. – №3. – P. 553–558
5. Makridin, N.I. Cross-linking and structural strength of cement composites / N.I. Makridin, E.V. Korolev, I.N. Maksimova. –M.: MGSU, 2013. – 152 p.

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

Россия, 430000, г. Саранск,  
ул. Советская, д. 24  
тел.: (8342) 47-71-56

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

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

**Низин Дмитрий Рудольфович,**  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: nizindi@yandex.ru

**Артамонов Денис Александрович,**  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: denartam@gmail.com

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

Russia, 430000, Saransk, 24,  
Soviet St.,  
tel.: (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

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

**Nizin Dmitry Rudolfovich,**  
Postgraduate student of «Building structures»  
department  
E-mail: nizindi@yandex.ru

**Artamonov Denis Alexandrovich,**  
Postgraduate student of «Building structures»  
department  
E-mail: denartam@gmail.com

## КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ\*

Т.А. Низина, В.П. Селяев, Д.Р. Низин, Д.А. Артамонов

Изложены результаты натурных климатических испытаний эпоксидных композиционных материалов. Приведены количественные значения основных метеорологических параметров и загрязняющих веществ в окружающем воздухе. Выявлено влияние длительности экспонирования на изменение упругопрочностных характеристик полимерных составов на основе эпоксидных связующих.

*Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, климатические факторы, старение полимеров, упругопрочностные характеристики*

## ANALYSIS OF CLIMATE RESISTANCE OF POLYMER COMPOSITES BASED ON EPOXY BINDER

T.A. Nizina, V.P. Selyaev, D.R. Nizin, D.A. Artamonov

The results of field climatic tests of epoxy composites are presented. The quantitative values of the main meteorological parameters and pollutants in ambient air are shown. The influence of the duration of the exposure to changes in the elastic-strength characteristics of polymeric compositions based on epoxy resins is revealed.

*Keywords: polymer composite materials, climatic factors, aging of polymers, elastic strength characteristics*

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-08-97172.

Несмотря на принятую мировым сообществом стратегию устойчивого развития, согласно которой предполагается минимизировать загрязнение окружающей среды, существующий уровень техногенного загрязнения как окружающего воздуха, так и воздуха производственных помещений оказывает значительное влияние на стойкость и долговечность строительных изделий и конструкций. В связи с этим возникает необходимость защиты вновь возводимых и восстановления уже существующих ограждающих конструкций зданий и сооружений. Как правило, для этих целей используют лакокрасочные покрытия различной природы и функциональности. Широкое применение при строительстве разного рода промышленных объектов нашли защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных связующих. Целесообразность их использования обусловлена возможностью существенного повышения прочности и долговечности изделий и конструкций даже при нанесении покрытия небольшой толщины, позволяющего практически полностью исключить негативное влияние на защищаемую поверхность агрессивных сред. При этом одним из существенных недостатков покрытий на основе полимерных связующих является их низкая стойкость к действию климатических факторов.

Ряд исследований, проведенных в области старения полимеров [1–7], показал, что практически все полимерные материалы обладают низкой стабильностью свойств во времени. Под действием естественных агрессивных сред полимерные материалы стареют – в них протекают процессы деструкции, сопровождающиеся изменением их химической и физической структур. Данный процесс происходит при одновременном действии УФ-облучения, температуры и относительной влажности воздуха, загрязняющих веществ и т.д. Сочетание этих факторов существенно зависит от климатической зоны, а их действие носит непостоянный характер в течение длительного времени эксплуатации. Однако их влияние на деструкцию полимера в значительной степени обусловлено иницируемыми солнечным светом фотохимическими превращениями. Именно поэтому считается, что преобладающими в процессе старения полимерных покрытий в природных условиях являются фотохимические реакции под действием УФ-составляющей солнечного излучения с длиной волн в интервале  $300 \div 400$  нм. Свет с меньшей длиной волны практически не доходит до поверхности Земли вследствие поглощения озоновым слоем, а видимый свет относительно слабо поглощается полимерами и обладает меньшей фотохимической активностью [3, 8].

Полимерные композиционные материалы, используемые для защиты зданий и сооружений, должны обладать высокими упругопрочностными характеристиками, достаточной подвижностью, а также стабильностью свойств в процессе эксплуатации. Эпоксидная смола ЭД-20 является одной из наиболее распространенных во множестве отраслей, в том числе и строительной. При этом она обладает достаточно высокой вязкостью, что делает работу с ней чрезвычайно трудоемкой и продолжительной. Для получения эффективных полимерных составов использовался алифатический разбавитель Этал-1, представляющий собой современный аналог традиционных разбавителей ДЭГ-1 и ТЭГ-1, в количестве  $5 \div 50$  % от общей массы связующего.

В качестве отверждающей системы использовался отвердитель аминного типа Этал-45М. В сочетании со смолой ЭД-20 он обладает в 3 раза большей жизнеспособностью по сравнению с традиционным отвердителем – полиэтиленполиамином, позволяя дополнительно снизить вязкость полимерного связующего при обеспечении достаточно высоких физико-механических характеристик готовых композитов.

Экспериментальные исследования упругопрочностных характеристик проводились на образцах-восьмерках, изготовленных согласно ГОСТ 11262–80 (тип 2). Для каждого состава параллельно исследовалось не менее 6 образцов. В качестве исследуемых характеристик определялись: предел прочности, модуль упругости и относительное удлинение при растяжении. Реологические характеристики полимерного связующего определялись с помощью вискозиметра ВЗ-246 с диаметром отверстия 4 мм. По результатам проведенного исследования установлено существенное снижение реологических параметров при введении в состав полимерного связующего активного разбавителя Этал-1 и использовании отвердителя Этал-45М (рис. 1). В зависимости от

содержания Этал-1 (5÷50 % от массы смоляной составляющей) достигнуто снижение вязкости составов, соответственно, в 1,3÷7,8 раза. Изменение вязкости эпоксидных композитов в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1 с высокой достоверностью ( $R^2=0,99$ ) аппроксимируется экспоненциальной зависимостью

$$\eta = 2879 \times e^{-0,04}$$

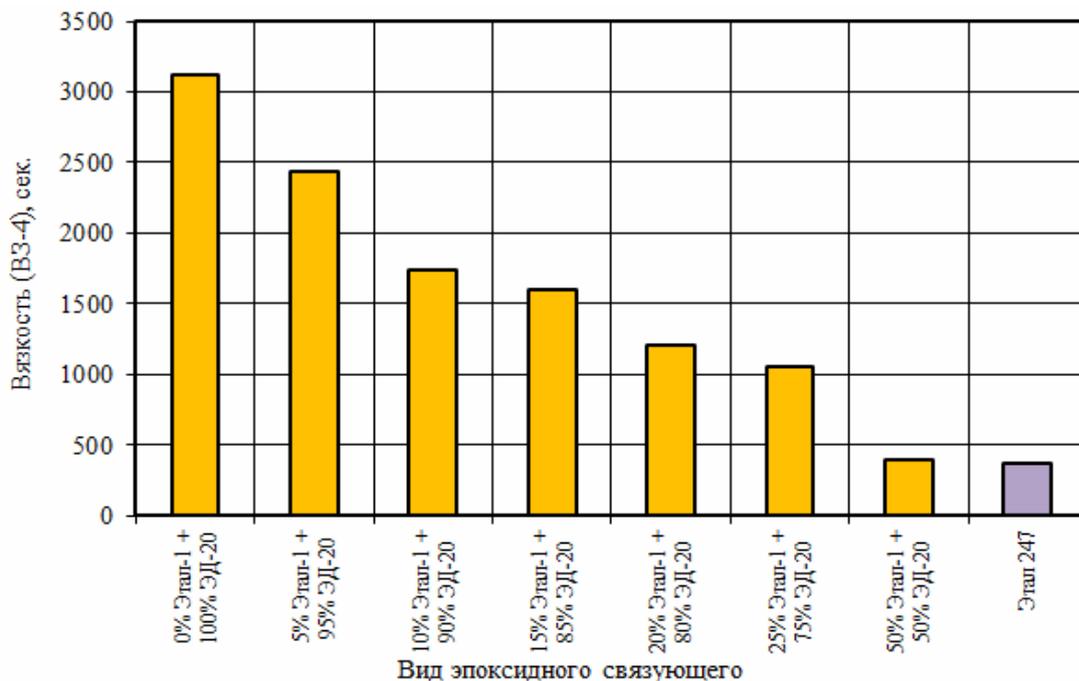


Рис. 1. Изменение реологических характеристик эпоксидных композиций в зависимости от вида связующего

Также в качестве объекта исследования был выбран состав на основе эпоксидной смолы Этал-247, многократно превосходящий немодифицированный композит на основе ЭД-20 по реологическим характеристикам и соответствующий составу с 50 %-м содержанием Этал-1 (см. рис. 1).

Анализ кривых деформирования эпоксидных композитов при растяжении показал (рис. 2), что введение активного разбавителя приводит к снижению упругопрочностных характеристик. Результаты исследования контрольных составов, полученные согласно ГОСТ 11262–80 «Пластмассы. Испытания на растяжение», представлены в табл. 1. При содержании в составе композитов 50 % Этал-1 наблюдается уменьшение предела прочности и модуля упругости при растяжении, соответственно, в 2,9 и 2,3 раза. Средние значения относительного удлинения исследуемых составов при максимальной нагрузке варьируются от 7,4 до 9,2 %.

Т а б л и ц а 1

Результаты исследования эпоксидных композиционных материалов

Исследуемая характеристика	Вид эпоксидного связующего							
	Содержание активного разбавителя Этал-1, % от мас. связующего на основе ЭД-20							Этал-247
	0	5	10	15	20	25	50	
Предел прочности при растяжении, МПа	59,28	54,76	53,09	49,10	44,98	45,68	20,45	36,28
Модуль упругости при растяжении, МПа	636,3	593,9	568,7	557,8	511,1	519,1	279,8	426,91
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	8,62	8,75	9,03	8,39	7,43	8,90	9,18	7,61

Для последующих климатических испытаний из 8 исследованных видов эпоксидных композитов были выбраны 4 состава (табл. 2), продемонстрировавшие наилучшее сочетание реологических и упругопрочностных характеристик.

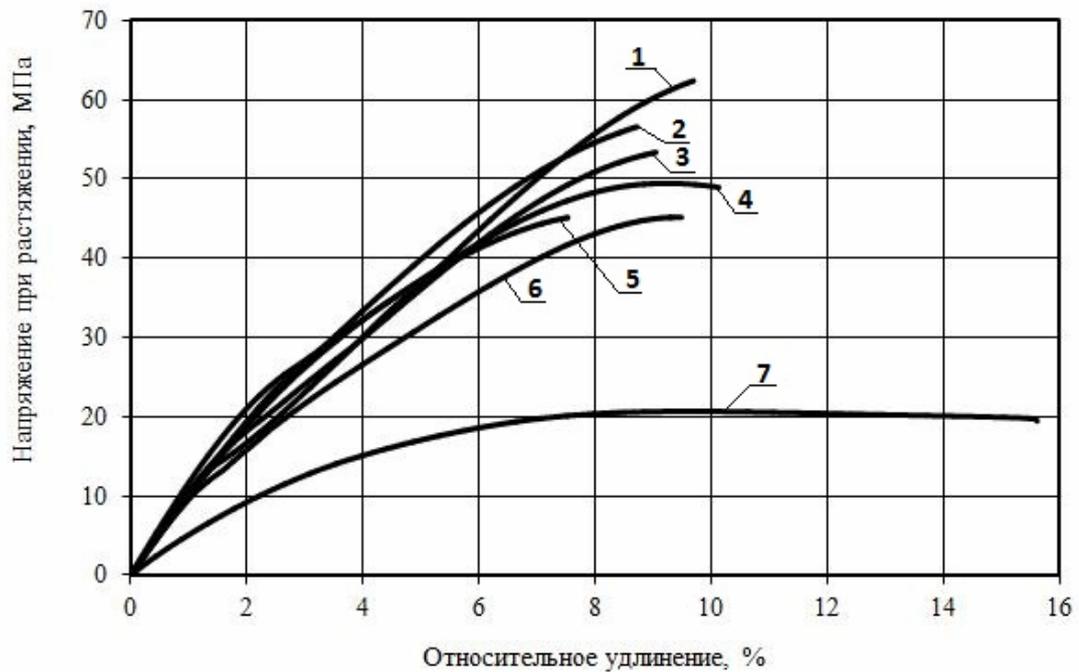


Рис. 2. Изменение кривых деформирования эпоксидных композитов при растяжении в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1: 1 – 0; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 15; 5 – 20; 6 – 25; 7 – 50 % от мас. связующего

Т а б л и ц а 2

Составы исследуемых образцов

Номер состава	Эпоксидное связующее
1	ЭД-20 – 100 %
2	ЭД-20 – 90 %, Этал-1 – 10 %
3	ЭД-20 – 75 %, Этал-1 – 25 %
4	Этал-247 – 100 %

Исследуемые образцы экспонировались на испытательной площадке (сектор натурных испытаний строительных материалов и конструкций эколого-метеорологической лаборатории Мордовского государственного университета им Н.П. Огарева). Высокотехнологичное оборудование, приобретенное в рамках реализации Программы развития Мордовского государственного университета им Н.П. Огарева на 2010–2019 гг., позволяет получать большой объем количественных данных по параметрам, характеризующим агрессивное воздействие окружающей среды. Газоаналитический и метеорологический комплексы каждые 20 минут автоматически фиксируют концентрации загрязняющих веществ – оксида углерода, озона, диоксида азота, оксида азота, диоксида серы, сероводорода, аммиака – в атмосфере и основные метеорологические параметры (температура, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, осадки).

Актинометрический комплекс позволяет измерять суммарную солнечную радиацию, ультрафиолет-А (315÷400 нм) и ультрафиолет-В (280÷315 нм) с частотой 10 минут в круглосуточном режиме. Полученные значения основных метеорологических параметров и загрязняющих веществ приведены в табл. 3. Кривые изменения интенсивности солнечной радиации, ультрафиолетового излучения диапазона А и В за

август 2014 года представлены на рис. 3; их суммарные характеристики за каждый месяц с марта по ноябрь 2014 года – на рис. 4.

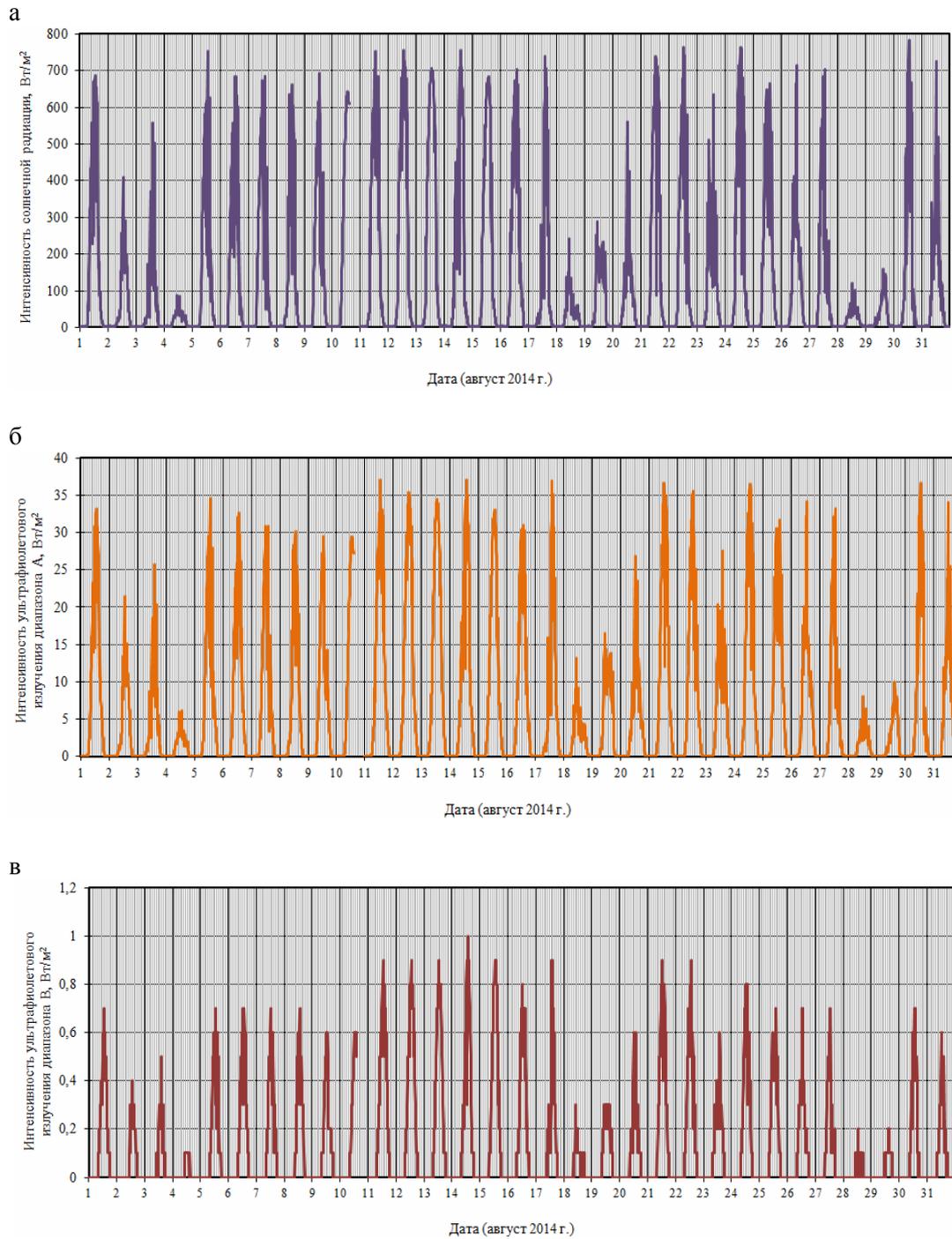


Рис. 3. Изменение интенсивности суммарной солнечной радиации (а), ультрафиолетового излучения диапазона А (б) и В (в) в августе 2014 года

Количественные значения метеорологических параметров  
и загрязняющих веществ в окружающем воздухе в марте – ноябре 2014 года

Исследуемые параметры	Месяц 2014 года								
	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь
Метеорологические параметры									
Среднемесячная температура, °С	0,1	6,2	17,9	17,4	20,6	20,6	12,5	3,1	-3,4
Минимальная температура, °С	-15,5	-6,7	0,5	5,9	7,8	7,3	-1,0	-11,5	-17,7
Максимальная температура, °С	13,9	24,2	33,3	33,7	34,4	36	25,6	18,9	11,2
Среднемесячная относительная влажность, %	69	56	54	65	55	68	70	76	83
Минимальная относительная влажность, %	23	14	13	11	19	24	20	40	48
Максимальная относительная влажность, %	97	97	98	97	95	100	99	100	100
Суммарное количество выпавших осадков, мм	14,2	21,8	36,2	49,5	11,3	58,2	9,8	52,3	12,2
Концентрации загрязняющих веществ в воздухе									
SO <sub>2</sub>	0,005	0,003	0,003	0,008	0,006	0,008	0,007	0,004	0,005
H <sub>2</sub> S	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001
NO	0,002	0,003	0,008	0,008	0,008	0,005	0,016	0,012	0,026
NO <sub>2</sub>	0,028	0,021	0,027	0,021	0,022	0,020	0,026	0,023	0,032
NO <sub>x</sub>	0,121	0,041	0,078	0,043	0,161	0,085	0,183	0,041	0,058
CO	0,312	0,272	0,295	0,262	0,289	0,295	0,359	0,264	0,271
O <sub>3</sub>	0,057	0,059	0,061	0,051	0,049	0,064	0,032	0,034	0,027
NH <sub>3</sub>	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

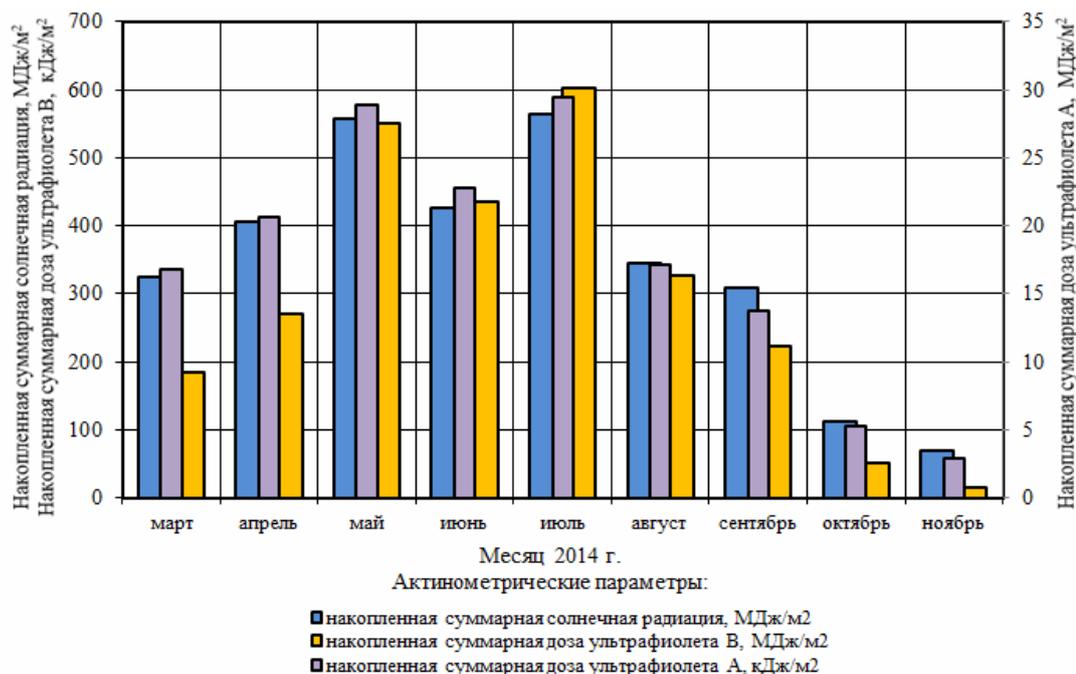


Рис. 4. Суммарные значения акциметрических параметров в марте – ноябре 2014 года

На рис. 5-7 представлены результаты, которые получены для составов эпоксидных связующих, экспонированных в условиях действия климатических факторов с 1 марта по 1 декабря 2014 года и свидетельствуют о низкой климатической стойкости традиционных составов на основе эпоксидной смолы ЭД-20. Несмотря на наименьшие среди контрольных составов упругопрочностные характеристики, для модифицированной эпоксидной смолы Этал-247 зафиксирована наибольшая стабильность свойств во времени. Введение алифатического разбавителя Этал-1 в количестве 25 % от общей массы связующего замедляет деградационные процессы в эпоксидном композите – значительное падение прочности наблюдается к 180 суткам экспонирования. Для составов №1 и 2 также характерно резкое снижение предела прочности и относительного удлинения при растяжении, однако данный эффект проявляется уже через 3 месяца после начала испытания (рис. 5). Общий характер изменения относительного удлинения при растяжении для всех составов аналогичен снижению прочности эпоксидных композитов в процессе экспонирования. При этом угол наклона кривой деформирования под влиянием климатических факторов практически не меняется; как следствие, снижение модуля упругости для всех исследуемых составов не превышает 13 % (рис. 7).

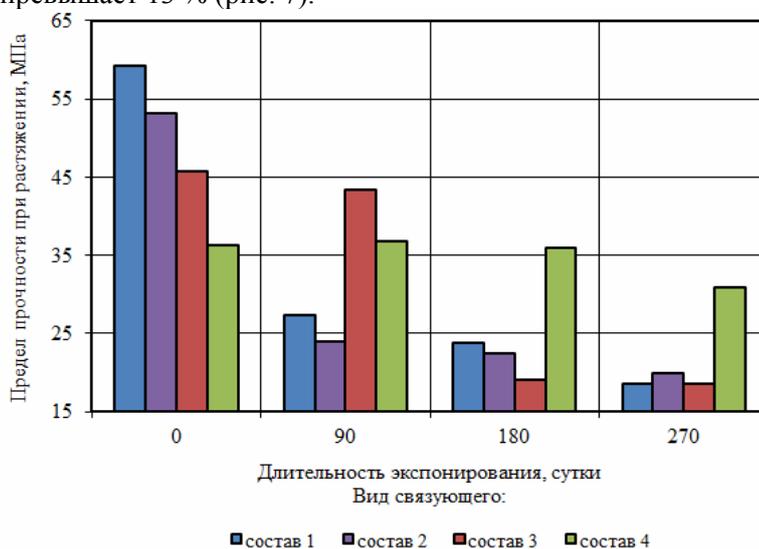


Рис. 5. Изменение предела прочности при растяжении эпоксидных композитов в зависимости от длительности экспонирования в условиях воздействия натуральных климатических факторов

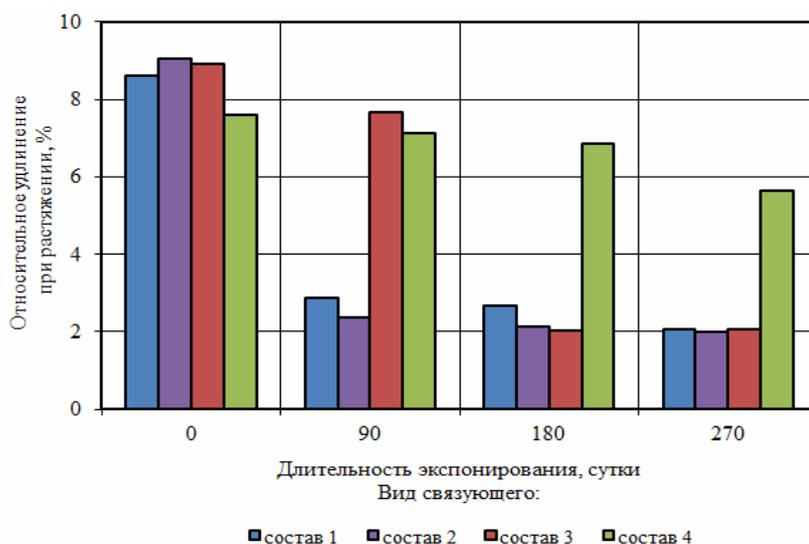


Рис. 6. Изменение относительного удлинения при растяжении эпоксидных композитов в зависимости от длительности экспонирования в условиях воздействия натуральных климатических факторов

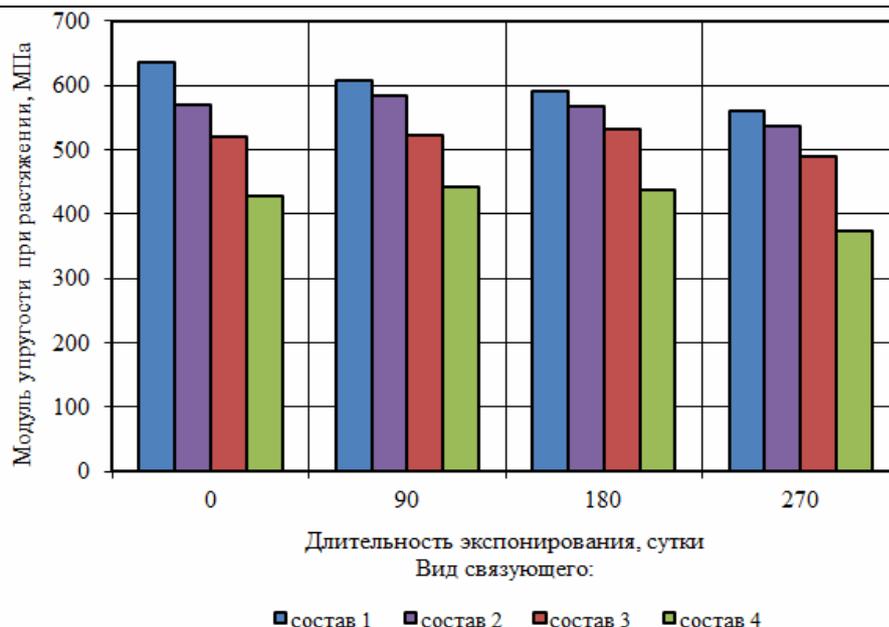


Рис. 7. Изменение модуля упругости при растяжении эпоксидных композитов в зависимости от длительности экспонирования в условиях воздействия природных климатических факторов

Учитывая существенное изменение упругопрочностных характеристик полимерных композитов на основе традиционных эпоксидных связующих в условиях воздействия природных факторов, целесообразно практическое апробирование составов защитно-декоративных покрытий совмещать с проведением испытаний на климатическую стойкость в естественных условиях. Это позволит более обоснованно подойти к выбору составов защитных покрытий, обеспечивающих требуемую долговечность строительных изделий и конструкций.

#### Список литературы

1. Павлов, И.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях / И.Н. Павлов. – М.: Химия, 1982. – 220 с.
2. Эммануэль, Н.М. Химическая физика старения и стабилизации полимеров / Н.М. Эммануэль, А.Л. Бучаченко. – М.: Наука, 1982. – 360 с.
3. Низина, Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т.А. Низина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 258 с.
4. Селяев, В.П. Оценка изменения декоративных свойств защитных покрытий под действием УФ-облучения / В.П. Селяев, Т.А. Низина, Ю.А. Ланкина // Вестник Мордовского ун-та. – 2008. – № 4. – С. 128–133.
5. Низина, Т.А. Анализ декоративных характеристик эпоксиуретановых покрытий, работающих в условиях воздействия ультрафиолетового облучения / Т.А. Низина, А.Н. Зимин, В.П. Селяев, Д.Р. Низин // Известия КазГАСУ. – 2011. – № 3. – С. 139–144.
6. Низина, Т.А. Влияние наполнителей на изменение декоративных характеристик эпоксиуретановых покрытий под действием ультрафиолетового облучения / Т.А. Низина, А.Н. Зимин, Д.Р. Низин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2012. – № 1. – С. 6–10.
7. Кириллов, В.Н. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения / В.Н. Кириллов, О.В. Старцев, В.А. Ефимов // Авиационные материалы и технологии: юбил. науч.-техн. сб. (прил. к журн. «Авиационные материалы и технологии»). – М.: ВИАМ, 2012. – С. 412–423.
8. Результаты природных испытаний полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих / Д.Р. Низин, Д.А. Артамонов, А.Н. Чернов, Т.А. Низина // Огарёв-online. Разд. «Технические науки». – 2014. – Спецвып. – Режим доступа:

## References

1. Pavlov, I.N. Plastics aging in natural and artificial conditions / I.N. Pavlov. – M.: Chemistry, 1982. – 220 p.
2. Emmanuel, N.M. Chemical physics of aging and stabilization of polymers / N.M. Emmanuel, A.L. Buchachenko. – M.: Nauka, 1982. – 360 p.
3. Nizina, T.A. Protective and decorative coatings based on epoxy and acrylic resins / T.A. Nizina. – Saransk: Mordovian University Press, 2007. – 258 p.
4. Selyaev, V.P. Assessment of changes in properties of decorative coatings under UV irradiation / V.P. Selyaev, T.A. Nizina, Y.A. Lankina // Bulletin of Mordovia University. – 2008. – № 4. – P. 128–133.
5. Nizina, T.A. Analysis of decorative features of epoxyurethane coatings, working in conditions of exposure to UV irradiation / T.A. Nizina, A.N. Zimin, V.P. Selyaev, D.R. Nizin // Bulletin KSUAE. – 2011. – № 3. – P. 139–144.
6. Nizina, T.A. Effect of fillers on the change of ornamental characteristics of epoxyurethane coatings under ultraviolet irradiation / T.A. Nizina, A.N. Zimin, D.R. Nizin // Bulletin of Shukhov BSTU. – Belgorod, 2012. – № 1. – S. 6–10.
7. Kirillov, V.N. Weather resistance and defectiveness of polymer composite materials, problems and solutions / V.N. Kirillov, O.V. Startsev, V.A. Efimov // Aviation materials and technologies: a jubilee scientific-tech. collection (supplement to the journal «Aviation Materials and Technologies»). – M.: VIAM, 2012. – P. 412–423.
8. Results of field tests of polymer composite materials based on epoxy resins / D.R. Nizin, D.A. Artamonov, A.N. Chernov, T.A. Nizina // Ogarev-online. Section «Engineering». – 2014 – Special Issue. – Mode of access: <http://journal.mrsu.ru/arts/rezultaty-naturnykh-ispytaniij-polimernykh-kompozicionnykh-materialov-na-osnove-ehpoksidnykh-svyazuyushhikh>.

УДК 691.175:620.19

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

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

**Ерофеев Владимир Трофимович,**  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Строительные материалы  
и технологии»  
E-mail: pgs@mrsu.ru

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

*Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского*  
Россия, 603950, г. Нижний Новгород,  
пр. Гагарина, 23  
тел.: 462-30-90, факс.: 462-30-85

**Смирнов Василий Филиппович,**  
доктор биологических наук, профессор  
E-mail: biodeg@mail.ru

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

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

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

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

*Nizhny Novgorod state university named  
after N.I. Lobachevsky*  
Russia, 603950, Nizhny Novgorod,  
23, prospect Gagarina,  
tel.: 462-30-90, fax: 462-30-85

**Smirnov Vasily Filippovich,**  
Doctor of Biological Sciences, Professor  
E-mail: biodeg@mail.ru

## СТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРАКРИЛАТНОЙ СМОЛЫ В МОДЕЛЬНЫХ СРЕДАХ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ И БАКТЕРИЙ

В.Т. Ерофеев, А.В. Мышкин, В.Ф. Смирнов

Приведены результаты исследования стойкости полимерных композитов на основе полиэфиракрилатных связующих при выдерживании в модельных агрессивных средах мицелиальных грибов и бактерий.

*Ключевые слова: полимерные композиты, полиэфиракрилатная смола, биологическая стойкость, мицелиальные грибы, бактерии, модельные среды*

## RESISTANCE OF POLYMER MATERIALS IN THE MODEL ENVIRONMENTS OF MYCELIAL FUNGI AND BACTERIA

V.T. Yerofeev, A.V. Myshkin, V. F. Smirnov

Studies of the resistance of polymer composites based on preferability binder during curing in a model of aggressive environments of filamentous fungi and bacteria are given.

*Keywords: polymer composites, preferability resin, biological stability, filamentous fungi, bacteria, model environment*

В последнее время в строительстве находят широкое применение композиты на основе полимерных связующих, в частности полиэфиракрилатных смол (ПЭАС). Данные материалы все чаще используются при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте зданий и сооружений предприятий, технологический процесс которых связан с воздействием на конструкции агрессивных сред (предприятия микробиологической промышленности, мясомолочные комбинаты и т.д.) [1, 2]. Преимуществом этих композитов является повышенная стойкость к этим агрессивным средам [3, 4, 5].

В процессе эксплуатации вышеуказанные материалы могут подвергаться воздействию различных негативных факторов химической, физической и биологической природы. В настоящее время наименее изученным является воздействие на строительные материалы биологических факторов, а именно живых организмов, которые способны вызывать процесс биоповреждений и биоразрушений композитов [3, 6]. Наиболее активными агентами биоповреждений являются микроскопические грибы и бактерии. На долю микроорганизмов приходится около 80 % от всех видов биоповреждений. Разрушение композитов на основе полимерных связующих, в том числе и ПЭАС, происходит в результате того, что микроорганизмы способны использовать их в качестве источника питания. Разрушение материала может быть вызвано также воздействием агрессивных продуктов жизнедеятельности, выделяемых микроорганизмами в процессе их роста на материалах: это главным образом органические и неорганические кислоты, аммиак. Воздействие агрессивных метаболитов (биологические агрессивные среды), микроорганизмов может происходить не только в процессе непосредственной утилизации ими материалов, но и опосредованно за счет внешних загрязнений и биоразрушений других, рядом находящихся небиостойких материалов [7]. В связи с этим весьма перспективным для прогнозирования и ранней диагностики процессов биоповреждений строительных материалов является проведение исследований с использованием различных модельных сред, имитирующих процесс их биоповреждений. Для микроскопических грибов это органические кислоты, для аэробных бактерий (тионовые, нитрифицирующие) – серная, азотная кислоты и аммиак. Следует отметить, что в последнее время в качестве агрессивных метаболитов мицелиальных грибов рассматриваются активные формы кислорода, в частности пероксид водорода [8].

Известно, что основной функциональной характеристикой композиционных материалов являются их физико-химические свойства. В связи с этим целью наших исследований в рамках данной работы являлось изучение изменений физико-механических свойств полиэфиракрилатных композитов в зависимости от состава агрессивных модельных сред. Рассматривались композиции на основе ПЭАС марки МГФ-9, отверждаемой инициатором твердения пероксидом циклогексанона ПЦОН-2 и ускорителем твердения октоатом кобальта ОК-1. Состав отверждающей системы был оптимизирован нами ранее по критерию прочности и состоял из 4,6 м.ч. ОК-1 и 2 м.ч. ПЦОН-2 на 100 м.ч. смолы марки МГФ-9 [9]. Составы сред метаболитов мицелиальных грибов и бактерий были приготовлены согласно принятой матрице планирования. В модельных средах выдерживали образцы 5-кратной повторности.

По результатам проведенных испытаний в модельной среде мицелиальных грибов получены следующие результаты: изменение массосодержания образцов варьировалось в интервале 1,51-2,76 %, коэффициента стойкости по прочности при сжатии в интервале 0,714-0,805, при изгибе – 0,722-0,791, по модулю упругости – 0,762-0,82.

Статистическая обработка результатов эксперимента позволила получить зависимости изменения коэффициента стойкости по прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ), при изгибе ( $R_{изг}$ ) и по модулю упругости ( $E$ ), а также изменения массосодержания ( $\Delta G$ ) полиэфиракрилатных композитов, выдержанных в модельной среде мицелиальных грибов, в зависимости от состава модельной среды:

$$R_{сж} = 0,805 - 0,025X_1 - 0,002X_3 - 0,029X_1^2 + 0,004X_1X_2 - 0,003X_1X_3 - \\ - 0,035X_2^2 - 0,021X_2X_3 - 0,015X_3^2.$$

$$R_{изг} = 0,723 + 0,007X_1 - 0,009X_2 - 0,008X_3 - 0,012X_1^2 - 0,005X_1X_2 + 0,006X_1X_3 - \\ - 0,02X_2^2 - 0,02X_2X_3 + 0,028X_3^2.$$

$$E = 0,77 - 0,011X_1 + 0,004X_2 - 0,005X_3 + 0,006X_1^2 + 0,006X_1X_2 - 0,006X_1X_3 + \\ + 0,026X_2^2 - 0,021X_2X_3 + 0,01X_3^2.$$

$$\Delta G = 2,15 + 0,02X_1 - 0,079X_2 - 0,054X_3 + 0,141X_1^2 + 0,155X_1X_2 - 0,091X_1X_3 - \\ - 0,117X_2^2 + 0,032X_2X_3 - 0,131X_3^2.$$

По уравнениям построены графические зависимости изменения коэффициента стойкости по показателю прочности при сжатии полиэфиракрилатных композитов, выдержанных в модельной среде мицелиальных грибов, от концентрации лимонной и щавелевой кислот (рис. 1).

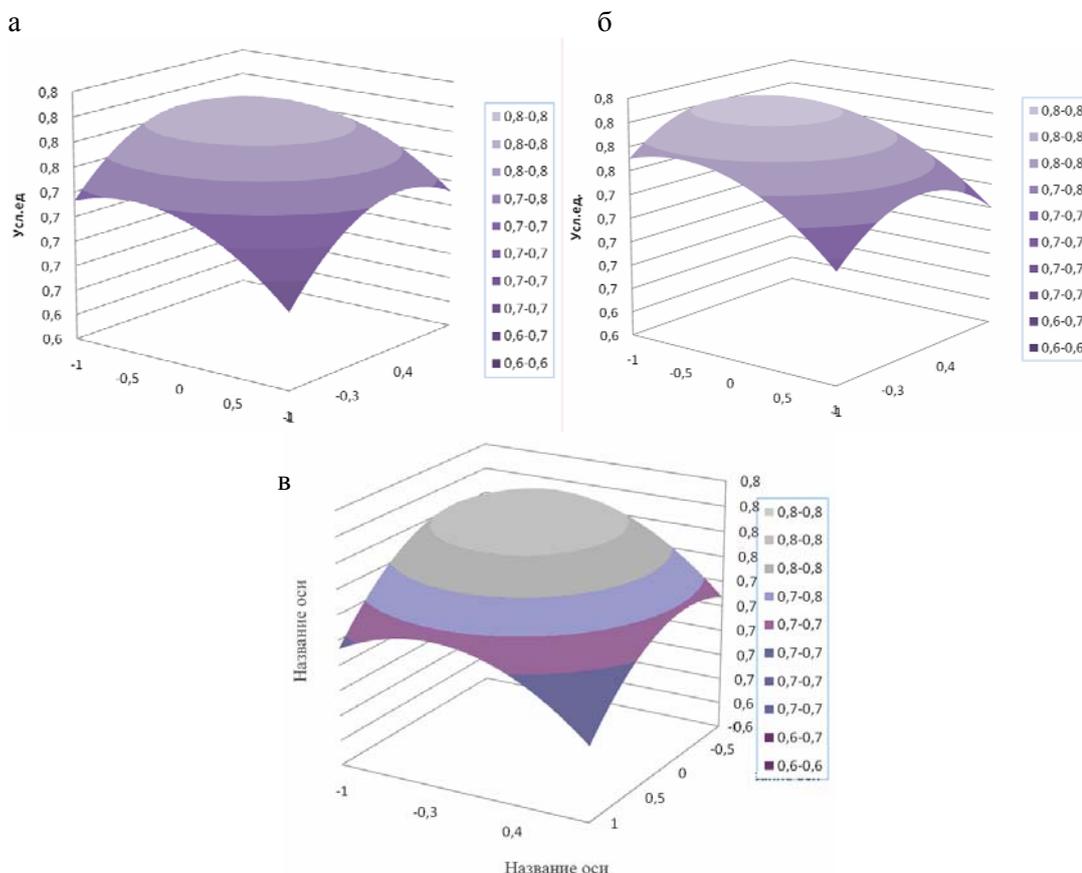


Рис.1. Зависимости изменения коэффициента стойкости по показателю прочности при сжатии полиэфиракрилатных композитов, выдержанных в модельной среде мицелиальных грибов, от концентрации лимонной и щавелевой кислот при содержании перекиси водорода: а – 0 %; б – 2,5 %; в – 5 %

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что продукты метаболизма грибов (рассматривались водные растворы различных концентраций лимонной и щавелевой кислот, перекиси водорода) приводят к изменению массосодержания и упругопрочностных свойств.

Из зависимости изменения массосодержания видно прямую зависимость увеличения изменения массосодержания от увеличения концентрации щавелевой кислоты в водном растворе. В то же время зависимость изменения исследуемого показателя от изменения концентрации перекиси водорода и лимонной кислоты является незначительной.

Анализируя изменение модуля упругости, можно отметить, что коэффициент стойкости по показателю модуля упругости при отсутствии перекиси водорода в водном растворе наиболее зависим от увеличения концентрации лимонной кислоты, а при повышении концентрации перекиси водорода негативным фактором будет и ее сочетание с щавелевой кислотой 3 %-й концентрации.

Представляет особый интерес изменение прочностных показателей.

Из графических зависимостей, характеризующих изменение прочности при сжатии, видно, что наибольшее негативное воздействие на композиты оказывают водные растворы, в которых содержание лимонной и щавелевой кислот находится по отдельности в максимальных концентрациях. Совместное же их воздействие менее агрессивно.

Из уравнения регрессии, характеризующего изменение прочности на изгиб, можно отметить другую зависимость коэффициента стойкости по сравнению с изменением

показателя прочности при сжатии. Здесь наибольшее влияние в модельных растворах оказывает повышенная концентрация щавелевой кислоты при содержании перекиси водорода в концентрации 5 %.

По результатам проведенных испытаний в модельных средах бактерий были получены следующие данные: изменение массосодержания образцов варьировалось в интервале 1,75-2,40 %, коэффициента стойкости по прочности при сжатии в интервале 0,771-0,844, при изгибе – 0,695-0,790, по модулю упругости – 0,720-0,794, в зависимости от состава модельной среды.

Статистическая обработка результатов эксперимента позволила получить зависимости изменения коэффициента стойкости по прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ), при изгибе ( $R_{изг}$ ) и по модулю упругости ( $E$ ), а также изменения массосодержания ( $\Delta G$ ) полиэфиракрилатных композитов, выдержанных в модельной бактериальной среде, от состава модельной среды:

$$R_{сж} = 0,844 + 0,01X_1 + 0,007X_2 - 0,004X_3 - 0,015X_1^2 - 0,004X_1X_2 + 0,004X_1X_3 - 0,019X_2^2 + 0,021X_2X_3 - 0,026X_3^2.$$

$$R_{изг} = 0,754 - 0,002X_1 - 0,009X_2 - 0,022X_3 - 0,005X_1^2 + 0,028X_1X_2 - 0,023X_1X_3 - 0,004X_2^2 + 0,001X_2X_3 - 0,008X_3^2.$$

$$E = 0,725 - 0,003X_1 + 0,011X_2 - 0,001X_3 + 0,014X_1^2 + 0,003X_1X_2 - 0,026X_1X_3 - 0,005X_2^2 - 0,012X_2X_3 + 0,021X_3^2.$$

$$\Delta G = 2,27 + 0,15X_1 + 0,078X_2 - 0,033X_3 + 0,017X_1^2 - 0,04X_1X_2 + 0,025X_1X_3 - 0,102X_2^2 + 0,14X_2X_3 - 0,183X_3^2.$$

По уравнениям построены графические зависимости (рис. 2).

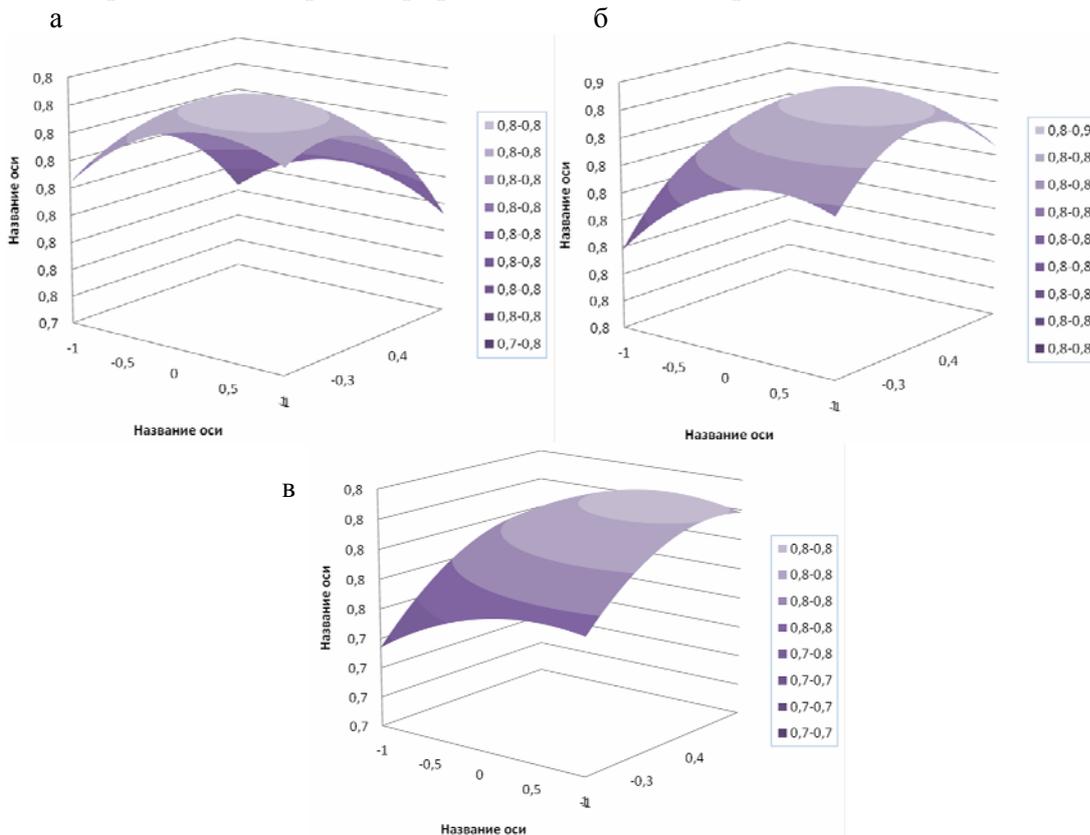


Рис.2. Зависимости изменения коэффициента стойкости по показателю прочности при сжатии полиэфиракрилатных композитов, выдержанных в модельной среде бактерий, от концентрации серной и азотной кислот при содержании аммиака:

а – 0 %; б – 1 %; в – 2 %

Анализ графических зависимостей изменения стойкости полиэфиракрилатных композитов в водном растворе серной и азотной кислот и аммиака (такая среда принята в качестве продуктов метаболизма бактерий) показывает, что в зависимости от концентрации кислот и аммиака свойства материалов изменяются в значительных пределах.

Из зависимости, характеризующей изменение массосодержания, видна прямая зависимость уменьшения массосодержания от повышения концентрации азотной кислоты. Влияние серной кислоты и аммиака является незначительным.

Из уравнения зависимости модуля упругости от состава модельной среды видно наибольшее негативное влияние сочетания серной кислоты и аммиака в максимальных концентрациях (в соответствии с матрицей планирования).

Анализируя графические зависимости (см. рис.2), можно отметить, что на коэффициент стойкости по показателю прочности при сжатии наибольшее негативное влияние оказывает рост концентрации аммиака в водном растворе, совместное воздействие с другими компонентами является менее значительным. При 0 % концентрации аммиака наибольшее влияние наблюдается от повышения концентрации серной кислоты до 2 %.

Из уравнения регрессии, характеризующего стойкость по прочности при изгибе, следует, что наибольшее влияние на исследуемый показатель оказывают азотная или серная кислота в максимальных в рамках матрицы планирования концентрациях. Добавление в раствор аммиака усиливает влияние азотной кислоты.

Анализируя полученные зависимости в целом, можно выделить самые неблагоприятные сочетания компонентов модельной среды, при которых происходит изменение массосодержания и упругопрочностных показателей полиэфиракрилатных композитов. Такими сочетаниями являются: для среды мицелиальных грибов – 5 % щавелевой кислоты и 5 % перекиси водорода, для среды бактерий – 2 % аммиака или сочетание 1 % аммиака с 2 % серной кислоты.

#### Выводы

1. Показана возможность использования модельных сред микроскопических грибов и бактерий для ранней индикации процесса биоповреждений композитов на основе полиэфиракрилатных смол.

2. Определены составы модельных сред мицелиальных грибов и бактерий, которые оказывают наибольшее негативное влияние на упругопрочностные показатели полиэфиракрилатных композитов.

#### Список литературы

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

2. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминокислотными соединениями / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: Палеотип, 2008. – 244 с.

3. Защита зданий и сооружений от микробиологических повреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина: монография / В.Т. Ерофеев [и др.]; под общ. ред. П.Г. Комохова, В.Т. Ерофеева, Г.Е. Афиногенова. – СПб.: Наука, 2009. – 352 с.

3. Ерофеев, В.Т. Биостойкие строительные композиты на основе отходов стекла / В.Т. Ерофеев [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2009. – №16. – С.122–126.

4. Ерофеев, В.Т. Влияние старения вяжущих на их биологическую стойкость / В.Т. Ерофеев [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – №2(14). – С.213–217.

5. Биоцидный портландцемент с улучшенными физико-механическими свойствами / В.Т. Ерофеев [и др.]. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2012. – Vol. 8, Is. 3. – С. 81–92.

6. Богатова, С.Н. Исследование биологической стойкости эпоксидных покрытий / С.Н.Богатова [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2011. – №3. – С.42–45.
7. Бажанова, М.Е. Исследование стойкости полимерных и металлополимерных трубопроводных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов / М.Е. Бажанова, В.Т. Ерофеев, А.Н. Бобрышев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – №1–2. – С.415–421.
8. Мышкин, А.В. Оптимизация составов полиэфиракрилатных композитов / А.В.Мышкин, В.Т. Ерофеев //Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С.56–61.

#### References

1. Solomatov, V.I. Biological resistance of materials / V.I. Solomatov [etc.]. – Saransk: Publishing house Mordov. Un-ty, 2001. – 196 p.
2. Yerofeev, V.T. Epoxy concrete modified by oil bitumens, coal and carbamide pitches and amin derivatives of connections /V.T. Yerofeev [etc.]. – M.: Paleotip publishing house, 2008. – 244 p.
3. Komokhov, P.G. Protection of buildings and constructions against biodamages by biocidal preparations on a basis guanidin / under the editorship of P.G. Komokhov, V.T. Yerofeev, G.E. Afinogenov. – SPb.: Science, 2009. – 192 p.
4. Yerofeev, V.T. Bioresistant construction composites on the basis of waste glass / V.T. Yerofeev [etc.] // Bulletin of the Volgograd state architectural and construction university. Series: Construction and architecture. – 2009. – No. 16. – P. 122–126.
5. Yerofeev, V.T. Influence of aging bildings on their biological firmness. Summary. V.T. Yerofeev [etc.] // News of the Kazan state architectural and construction university. – 2010. – No. 2(14). – P. 213–217.
6. A biocidal portlandcement with the improved physicomechanical properties / V.T. Yerofeyev [etc.] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2012. – Vol. 8, Iss. 3.– P. 81–92.
7. Bogatova, S. N. Research of biological firmness of epoxy coverings / S.N. Bogatova [etc.] // Paintwork materials and their application. – 2011. – №3. – P.42–45.
8. Bazhanova, M.E. Research of firmness of polymeric and metalpolymeric materials in the conditions of influence of soil microorganisms / M.E. Bazhanova, V.T. Yerofeev, A.N. Bobryshev //News of Southwest state university. – 2011. – №1–2. – P. 415–421.
9. Myshkin, A.V. Structure optimization of poliesteracrylate composites / A.V. Myshkin, V.T. Yerofeev //Regional architecture and construction. – 2013. – №3(17). – P.56–61.

УДК 691.5:553.3:661.3

*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

**Коровкин Марк Олимпиевич,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Технологии строительных материалов и  
деревообработки»  
E-mail: m\_korovkin@mail.ru

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

**Ерошкина Надежда Александровна,**  
кандидат технических наук, инженер-  
исследователь научно-исследовательского  
сектора  
E-mail: n\_eroshkina@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

**Korovkin Mark Olimpiyevich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Technology of building  
materials and wood processing»  
E-mail: m\_korovkin@mail.ru

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

**Eroshkina Nadezda Alexandrovna,**  
Candidate of Sciences, research engineer  
of scientific and research sector  
E-mail: n\_eroshkina@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВОЙ ЗОЛЫ-УНОСА НА СВОЙСТВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

М.О. Коровкин, В.И. Калашников, Н.А.Ерошкина

Приведены результаты исследования прочностных и усадочных свойств самоуплотняющегося бетона с добавкой высококальциевой золы. Установлено, что увеличение доли золы в вяжущем улучшает удобоукладываемость бетонной смеси, но снижает прочность бетона на начальных этапах твердения и увеличивает его усадку.

*Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, зола, прочность, усадка, удельный расход цемента*

## INFLUENCE OF HIGH-CALCIUM FLY ASH ON THE PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE

M.O. Korovkin, V.I. Kalashnikov, N.A. Eroshkina

The results of the research of strength and shrinkage properties of self-compacting concrete with the addition of high-calcium fly ash are presented. It was found that the increase of ash improves the workability of concrete mixture, but reduces the strength of concrete at early stages and increases its shrinkage.

*Keywords: self-compacting concrete, high-calcium fly ash, strength, shrinkage, specific consumption of cement*

### Введение

Применение высококальциевых зол со значительным содержанием свободного СаО в качестве компонента смешанных цементов сдерживается низкой долговечностью таких вяжущих. Негативное влияние на срок службы бетона добавки такой золы обусловлено увеличением объема извести при ее замедленном гашении в цементном камне, что приводит к образованию в нем трещин и снижению прочности.

Для решения проблемы деструктивных явлений предлагается измельчать золу до более высокой удельной поверхности [1]. Это позволяет открыть для реакции с водой

химически свободный оксид кальция, заключенный внутри частиц золы. Такой технологический прием обеспечивает гашение извести до потери цементным камнем пластических свойств, что уменьшает риск образования в нем трещин и снижения прочности [2]. Однако влияние дозировки золы на прочностные и усадочные свойства цементно-зольного камня, которые в значительной степени определяют его трещиностойкость и, соответственно, долговечность бетона, имеет часто непредсказуемый характер.

Проводились исследования прочности и усадки самоуплотняющегося бетона, изготовленного с применением цементно-зольного вяжущего.

### Методы и материалы для исследования

Для приготовления бетонных смесей использовались смешанное вяжущее на основе цемента и золы, а также щебень гранитный фракции 5-10 мм и отсев его дробления фракции 0,63-5 мм, плюс песок Сурского месторождения с  $M_k = 1,5$ . Соотношение смешанное вяжущее:щебень:отсев:песок во всех опытах было постоянным и составляло 1:1,41:0,64:1,15. Для обеспечения высокой удобоукладываемости бетонной смеси в ее состав с водой затворения вводился суперпластификатор Melflux 5581 F в количестве 0,4 % от массы вяжущего. Доля золы в составе вяжущего ( $x_1$ ) и водоцементное отношение ( $x_2$ ) в опытах назначались в соответствии с центральным композиционным ортогональным планом эксперимента. Основные уровни для первого и второго факторов составляли соответственно 30 % и 0,45, а интервалы варьирования – 20 % и 0,05.

Химический состав используемой в исследовании золы-уноса Красноярской ТЭЦ-1 представлен оксидами, %:  $SiO_2$  – 54,6;  $CaO$  – 23,0;  $CaO_{св}$  – 6,3;  $Al_2O_3$  – 7,0;  $Fe_2O_3$  – 7,0;  $MgO$  – 5,3;  $K_2O$  – 0,3;  $Na_2O$  – 0,3;  $TiO_2$  – 0,4;  $SO_3$  – 0,7; п.п.п. – 1,1. Для приготовления смешанного вяжущего зола измельчалась совместно с добавкой 7 % гипсового камня до удельной поверхности  $410 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Смешанное вяжущее готовилось с применением портландцемента ЦЕМ I 42,5Н производства ОАО «Мордовцемент».

Удобоукладываемость бетонной смеси определялась по расплыв стандартного конуса. После набора начальной прочности в течение 12-14 часов бетоны твердели при тепловлажностной обработке по режиму: подъем температуры до  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  – 3 часа, изотермическая выдержка – 10 часов. Прочность исследованных составов определялась после остывания образцов до комнатной температуры и через 6 месяцев твердения в нормальных условиях. В процессе хранения образцов измерялись их усадочные деформации.

### Результаты и их обсуждение

На графике (рис. 1), построенном по результатам статистической обработки данных исследования удобоукладываемости бетонной смеси видно, что расплыв конуса линейно возрастает при увеличении доли золы в вяжущем. При водоцементном отношении более 0,46–0,47 расплыв смеси не повышается, что связано с явлениями расслоения и водоотделения, которые усиливаются при увеличении расхода воды в бетонной смеси и негативно влияют на ее удобоукладываемость.

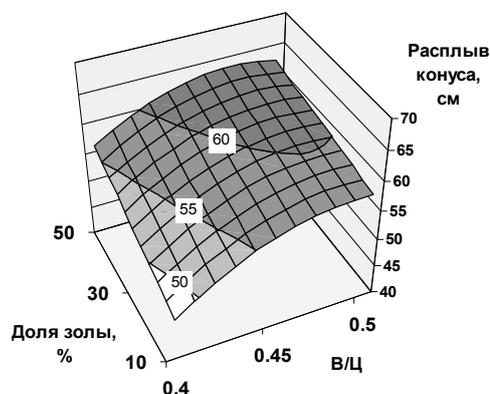


Рис. 1. Влияние водоцементного отношения и содержания в вяжущем золы на расплыв конуса бетонной смеси

Повышение доли золы в вяжущем с 10 до 50 % снижает прочность бетона после тепловлажностной обработки на 6–7 МПа (рис. 2а). Такое снижение компенсируется существенным уменьшением стоимости вяжущего с высоким содержанием золы, стоимость которой в 5–10 раз ниже стоимости портландцемента. При необходимости прочность бетона может быть повышена за счет увеличения расхода вяжущего с высоким содержанием золы.

Важной особенностью исследованных бетонов является снижение их прочности при водоцементном отношении ниже 0,43, причем эта закономерность отмечается и для бетона, твердевшего в течение 6 месяцев (рис. 2б). Такое снижение прочности можно объяснить ухудшением уплотнения смеси при сокращении расхода воды.

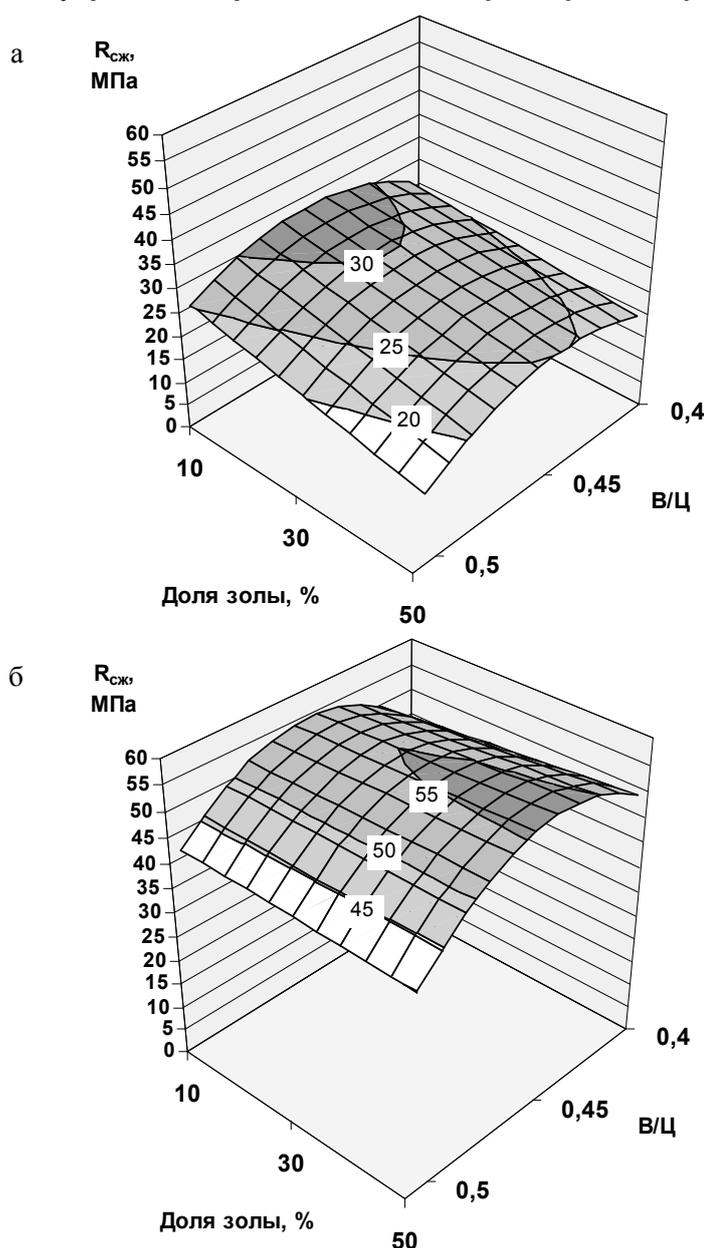


Рис. 2. Влияние водоцементного отношения и содержания в вяжущем золы на прочность после тепловлажностной обработки (а) и через 6 месяцев твердения в нормальных условиях (б)

Доля замещения портландцемента золой не влияет на прочность бетона после 6 месяцев твердения, что характеризует измельченную золу как медленно твердеющий компонент вяжущего. Зола обеспечивает прочность смешанного вяжущего в поздние сроки, равную прочности портландцементного клинкера. Ни в одном из образцов не

было обнаружено трещин. Все это свидетельствует об отсутствии деструктивных процессов в цементном камне с добавкой золы с высоким содержанием свободного оксида кальция.

Высокий расход смешанного вяжущего для получения самоуплотняющегося бетона (от 475 до 500 кг/м<sup>3</sup>) обуславливает значительную усадку (рис. 3). Повышение степени наполнения вяжущего золой значительно увеличивает усадочные деформации бетона, что не согласуется со сложившимся мнением о положительном влиянии золы на усадку бетона [3].

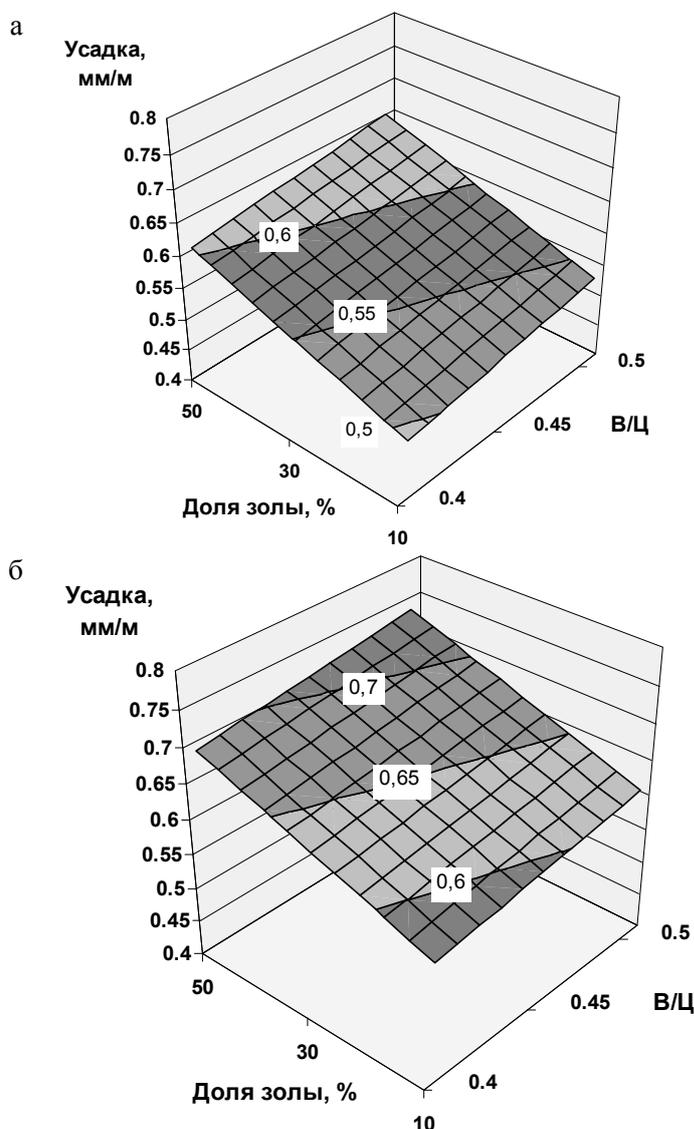


Рис. 3. Влияние водоцементного отношения и содержания в вяжущем золы на усадку бетона, подвергнувшегося тепловлажностной обработке, через 28 сут (а) и 6 месяцев (б) хранения в нормальных условиях

Расход портландцемента в исследованных составах находился в интервале от 238 до 450 кг/м<sup>3</sup>. Расчет удельного расхода цемента на единицу прочности бетона при сжатии показал, что при повышении степени замещения цемента золой значительно снижается этот показатель (см. таблицу). Значительное снижение удельного расхода цемента на единицу прочности бетона отмечается при оценке характеристик бетонов через 6 месяцев твердения.

Водо-цементное отношение	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup> , при различной доле золы в вяжущем, %			Удельный расход цемента на единицу прочности при различной доле золы в вяжущем, %		
	10	30	50	10	30	50
0,4	449	349	250	17,8/12,1	17,3/9,1	16,6/6,3
0,45	438	341	244	13,4/8,5	11,9/6,5	9,8/4,5
0,4	428	333	238	16,2/9,6	14,0/7,2	11,3/5,0

### Выводы

Использование измельченной высококальцевой золы-уноса для получения смешанного вяжущего самоуплотняющегося бетона не приводит к развитию деструктивных процессов, вызванных поздним гашением свободной извести в цементном камне. Зола является медленно твердеющим компонентом вяжущего, снижающим прочность в ранние сроки твердения. Через 6 месяцев повышение степени замещения цемента золой до 50 % не оказывает влияния на прочность бетона.

Негативным эффектом частичного замещения цемента золой является повышение усадки бетона. Этот фактор должен учитываться при производстве крупноразмерных конструкций.

### Список литературы

1. Калашников, В.И. Высокоэкономичный композиционный цемент с использованием золы-уноса / В.И. Калашников, Е.А. Белякова, О.В. Тараканов, Р.Н. Москвин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1(18). – С. 24–29.
2. Овчаренко, Г.И. Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах / Г.И. Овчаренко, Л.Г. Плотникова, В.Б. Францен. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 149 с.
3. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. — 368 с.

### References

1. Kalashnikov, V.I. Highly economical composite cement using fly ash / V.I. Kalashnikov, E.A. Belyakova, O.V. Tarakanov, R.N. Moskvina // Regional architecture and engineering. – 2014. – № 1(18). – С. 24–29.
2. Ovcharenko, G.I. Evaluation of the properties of coal ashes of KATEK and their use in heavy concrete / G.I. Ovcharenko, L.G. Plotnikova, V.B. France. – Barnaul: Univ AltSTU, 1997. – 149 p.
3. Dvorkin, L.I. Building materials from the waste industry: teaching handbook / L.I. Dvorkin, O.L. Dvorkin. – Rostov n/D: Phoenix, 2007. – 368 p.

УДК 666.11

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Береговой Виталий Александрович**,  
доктор технических наук, профессор кафедры  
«Технологии строительных материалов и  
деревообработки»

E-mail: vabereg@rambler.ru

**Сорокин Дмитрий Сергеевич**,  
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**Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich**,Doctor of Sciences, Professor of the department  
«Technology of building materials and wood  
processing»

E-mail: vabereg@rambler.ru

**Sorokin Dmitry Sergeevich**,  
student

## СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД\*

В.А. Береговой, Д.С. Сорокин

Разработаны составы и технология изготовления стеклокристаллических материалов на основе опочного природного сырья. Исследованы процессы формирования структуры и свойств материала.

*Ключевые слова: опочные породы, стеклокристаллические материалы, технология изготовления*

## GLASS-CRYSTAL MATERIALS ON THE BASIS OF FLASK ROCK

V.A. Beregovoi, D.S. Sorokin

Compositions and fabrication technology of glass-crystal materials on the basis of flask rock have been developed. Processes of formation of structure and properties of materials were investigated.

*Keywords: flask rocks, glass-crystal materials, fabrication technology*

Увеличение объемов строительства требует расширения ассортимента существующих и создания новых видов строительных материалов. В перспективную группу облицовочных строительных материалов входят искусственные стеклокристаллические материалы, получаемые на основе специально подобранных стекол путем их управляемой кристаллизации.

В отличие от многих традиционных материалов стеклокристаллиты характеризуются комплексом ценных эксплуатационных свойств: повышенной прочностью, долговечностью, морозостойкостью и износоустойчивостью.

Цель исследований заключалась в расширении сырьевой базы, снижении себестоимости и повышении механических показателей стеклокристаллических материалов, вырабатываемых из опокосодержащих расплавов. В ходе выполнения работы решались задачи выбора щелочесодержащих добавок и режимов термической обработки, обеспечивающих формирование благоприятного фазового соотношения в стеклокомпозите.

При проведении исследований использовали двухстадийную технологию получения стеклокомпозита, которая заключалась в следующем.

На начальном этапе осуществляли подготовку основного компонента сырьевой смеси – кремневидной разновидности природной опоки. Указанную горную породу высушивали при температуре 105...110 °С, а затем тонко размалывали до удельной поверхности 5000...6000 см<sup>2</sup>/г.

\* Работа выполнена при поддержке гранта № 2956ГУ1/2014 по программе «УМНИК».

Процесс изготовления образцов для испытаний состоял из двух стадий: первая заключалась в получении стеклогранулята заданного химического состава, а вторая – в переработке стеклогранулята в стеклокомпозит с заданным соотношением стекловидной и кристаллической фазы.

Шихту стеклогранулята готовили смешиванием предварительно подготовленной опоки с модификатором фазового состава (стеклообразователем) в количестве 25...35 % масс. Как показали эксперименты, в качестве таких добавок целесообразно использовать Na-содержащие ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ ) или K-содержащие ( $\text{KNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) соли. Для снижения величины барьера активации процесса формирования стекловидной связки предпочтительно использовать смесь указанных неорганических солей, например  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{KNO}_3$ , взятых в соотношении 1:1 (по массе).

На следующем этапе в трехкомпонентную смесь дополнительно вводили стабилизирующую добавку, роль которой – фиксация стекловидной фазы и придание ей требуемых показателей водостойкости и механической прочности. В качестве стабилизатора применяли Ca-содержащие соединения ( $\text{CaO}$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). При этом, как показали испытания, использование двухкомпонентной соли (доломита) позволяет снизить температуру обжига материала до 800 °С.

Перед обжигом сырьевую шихту компактировали на валковом прессе или экструдере под давлением 0,5...0,8 МПа. Уплотнение шихты проводилось с целью увеличения площади контакта частиц тугоплавкого кремнеземсодержащего компонента и легкоплавких добавок-модификаторов, а также для сохранения однородности шихты при термообработке [1]. Обжиг шихты для получения стеклогранулята производили в течение 1 часа при температуре 800...820 °С.

Обжиг материала обеспечивал протекание процессов жидко- и твердофазового спекания и формирование его окончательного фазового состава [2]. По данным рентгенофазового анализа (рис. 1), он представлен стеклом и остаточной кристаллической фазой в виде кварца (Кв), тридимита (Тр) и кристобалита (Кр).

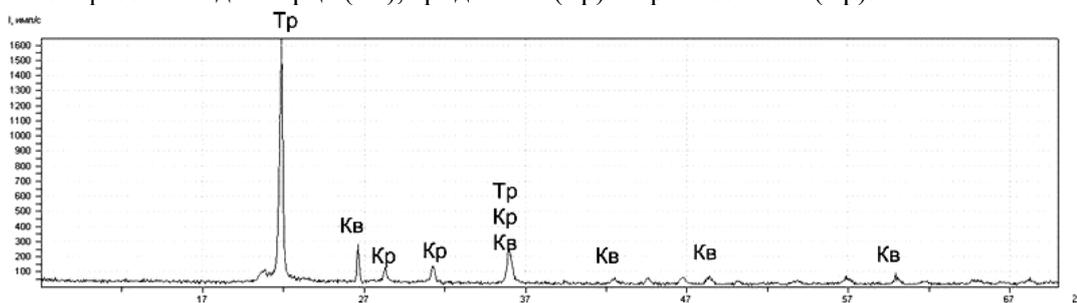


Рис. 1. Рентгенограмма обожженной опоки с добавкой  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ( $T_{\text{обж}}=850$  °С)

Очевидно, что достижение заданных показателей свойств стеклокомпозита обусловлено формированием соответствующих параметров его микроструктуры. Управление процессами структурообразования обжигаемой опочной шихты осуществляли введением добавок-модификаторов. Ранее аналогичный подход был реализован при получении декоративного стеклогранулята с заданными показателями свойств [3].

Рассматриваемые сырьевые смеси содержат оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{R}_2\text{O}$ , источником  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в которых является опочная порода, а источником оксидов  $\text{R}_2\text{O}$  – добавки-модификаторы фазового состава. На рис. 2 приведена схема возможных структурообразующих процессов, происходящих при обжиге рассматриваемых сырьевых шихт.

Вероятность протекания структурообразующих процессов в стекловидной фазе оценивали, исходя из допущения об отсутствии химического взаимодействия между компонентами. Это дает возможность получить математические зависимости для расчета показателей расплава и конечного материала, на основании которых разработать алгоритм проектирования составов с элементами компьютерного моделирования. Проблематика математического и компьютерного моделирования при синтезе строительных материалов, как сложных систем, показана в работе [4].

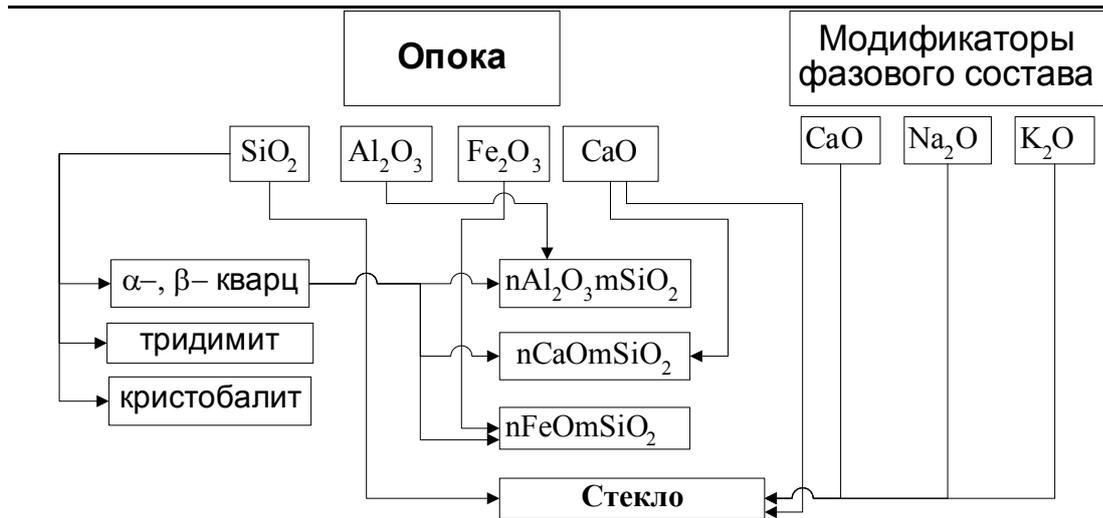


Рис. 2. Схема стеклообразующих процессов в системе «опока – модификатор фазового состава»

Температуру плавления четырехкомпонентной системы, состоящей из эвтектик CaO-Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>) и CaO-K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> (K<sub>2</sub>), определяли по формуле

$$T_{(N_2+K_2)} = \frac{N_2 \cdot T_{N_2}}{(N_2 + K_2)} + \frac{K_2 \cdot T_{K_2}}{(N_2 + K_2)},$$

где T<sub>N<sub>2</sub></sub> и T<sub>K<sub>2</sub></sub> – соответственно, температуры образования расплава состава N<sub>2</sub> и K<sub>2</sub>; N<sub>2</sub>+K<sub>2</sub> – общее содержание расплавов для данных составов, %.

Результаты петрохимических расчетов многокомпонентных минеральных систем, характерных для сырьевых смесей стеклокристаллических материалов на основе опочного сырья, приведены в табл. 1. Перспективность использования при синтезе строительных материалов как сложных систем

Т а б л и ц а 1

Количество и температура расплава многокомпонентных систем  
(на примере CaO–Me<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>)

Обозначение расплава	Количество расплава, %	Химический состав сырьевой смеси, % по массе				Температура расплава, °С
		SiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
		76,1	6,2	7,7	10,0	
N <sub>1</sub>	36,15	73,5	5,2	21,3		725
K <sub>1</sub>	39,84	73,0	1,9		25,1	720
ΣN <sub>1</sub> +K <sub>1</sub>	75,99					722,5

Согласно расчетным данным применение бинарной стеклообразующей добавки (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) и CaO обеспечивает образование 75 % стекловидного расплава в структуре материала при температуре обжига свыше 725 °С.

На второй (заключительной) технологической стадии из обожженного стеклогранулята синтезировали стеклокомпозит. Для этого стеклогранулят перемалывали в пресс-порошок, из которого затем отформовали сырцовые заготовки. Окончательно стеклокристаллический материал формировался в результате обжига при температурах 800...820°С. Результаты механических испытаний стеклокомпозитов, полученных таким образом, приведены на рис. 3.

Анализ данных, приведенных на рис. 3, показывает, что введение в базовый состав добавки в виде стеклянного порошка в количестве 20 % приводит к снижению средней плотности материала до 960 кг/м<sup>3</sup> и сопровождается закономерным уменьшением прочности. Показатели остальных свойств разработанного стеклокристаллического материала приведены в табл. 2.

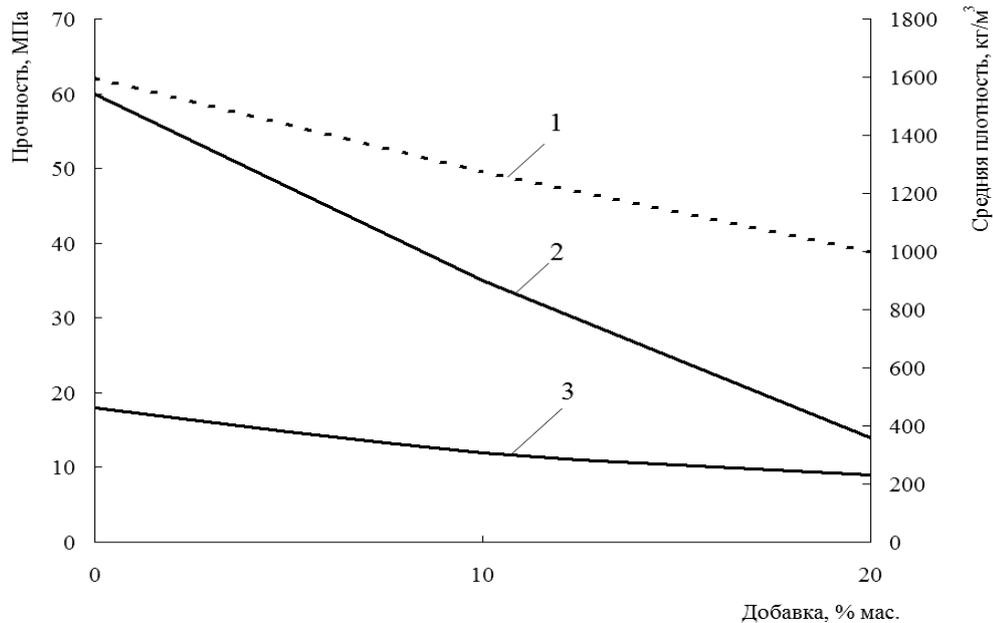


Рис. 3. Влияние добавки оконного стекла на показатели свойств стеклокомпозита:  
1 – средняя плотность; 2 – прочность на сжатие; 3 – прочность при изгибе

Т а б л и ц а 2

## Показатели свойств стеклокристаллита на основе опоки

Наименование показателя	Состав	
	базовый	с добавлением 20 % стекла
Прочность, МПа:		
– на сжатие	55...60	14...16
– на изгиб	16...18	8...9
Водопоглощение, мас. %	0,15...0,20	1,0...1,2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1500...1600	950...1050
Морозостойкость	Более 50	Более 50
Цвет	Опаловый молочно-желтый	Опаловый с блеском

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о целесообразности использования кремнистых опок в качестве сырьевой основы при производстве эффективных стеклокристаллических композиционных материалов.

Установлено, что введение подобранных трехкомпонентных добавок (поташ+сода+известь) обеспечивает формирование минерально-фазового состава композита по заданным свойствам при температурах обжига, не превышающих 850 °С.

## Список литературы

1. Береговой, В.А. Жаростойкие пенобетоны / В.А. Береговой, Н.А. Прошина, Е.В. Королев. – Пенза: ПГУАС, 2007. – 111 с.
2. Пат. № 2415817 РФ. Шихта для изготовления стеклогранулята для пеностеклокристаллических материалов / О.В. Казьмина, А.Н. Абияка, В.И. Верещагин, С.Н. Соколова. – Оpubл. 10.04.2011. – Бюл. № 10.

## References

1. Beregovoy, V. A. Heat-resistant foam concretes / VA. Beregovoy, N. A. Proshina, E.V. Korolev. – Penza: PGUAS, 2007. – P. 111
2. Pat. № 2415817 RU. Mixture for preparing quenched cullet for producing foamed glassceramic materials / O.V. Kazmina, A.N. Abijaka, V.I. Vereshchagin, S.N. Sokolova. – Date of publication: 10.04.2011– Bull. 10.

*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

**Рыжов Антон Дмитриевич**,  
аспирант кафедры «Управление качеством и  
технология строительного производства»  
E-mail: penza48@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

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

**Ryzhov Anton Dmitrievich**,  
Postgraduate of the department «Quality  
management and construction technologies»  
E-mail: penza48@yandex.ru

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С СИНТЕЗИРУЕМОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО АЛЮМИНИЯ

В.И. Логанина, А.Д. Рыжов

Приведены сведения о закономерностях структурообразования известковых композиций с добавками синтезированных алюмосиликатов. Показаны закономерности взаимодействия пластифицирующих добавок с наполнителем на основе синтезируемых алюмосиликатов.

*Ключевые слова: аморфные алюмосиликаты, состав, структурообразование, сухие строительные смеси, пластическая прочность, водоредуцирующий эффект*

## RHEOLOGICAL PROPERTIES OF LIME DRY BUILDING MIXES WITH ADMIXTURE BASED ON AMORPHOUS ALUMINIUM

V.I. Loganina, A.D. Ryzhov

Patterns of structure with the addition of lime compositions synthesized aluminosilicate are provided. Patterns of interaction plasticizers filled on the basis of the synthesized aluminosilicate are shown.

*Keywords: amorphous silica-alumina, composition, structure, dry mixes, plastic strength, water-reducing effect*

Для регулирования структуры и свойств известковых сухих строительных смесей, предназначенных для ремонта и реставрации зданий исторической застройки, нами предложено применять добавку, полученную синтезом, заключающимся в добавлении микродисперсных порошков алюминия в натриевое жидкое стекло [1, 2].

Синтезируемая добавка представляет собой легкий порошок светло-серого цвета (размер частиц 2–20 мкм), с насыпной плотностью  $0.55 \pm 0.05$  г/см<sup>3</sup>. В ходе синтеза добавки образуется большое количество газообразного молекулярного водорода, который создает в добавке поры различного размера и формы [3]. Выход готового продукта составляет 90 %.

Предлагаемая добавка была использована при изготовлении известкового композиционного вяжущего (ИКВ), которое применялось при разработке рецептуры сухой строительной смеси (ССС). Содержание добавки составляло 5 % от массы извести.

Для синтеза добавки в работе использовали натриевое стекло с силикатным модулем 2,9, алюминиевую пудру ПАП -1. Для оптимизации режима синтеза добавки применялось следующее соотношение компонентов:

1 состав – алюминиевая пудра: жидкое стекло: вода = 1:4:7;

2 состав – алюминиевая пудра: жидкое стекло: вода =1:8:14.

Смесь нагревалась при температуре 60°C в течение 90 мин.

С целью регулирования реологических свойств известковой смеси применялись пластифицирующие добавки Кратасол – ПФМ, С-3, Sika 3180. Содержание пластифицирующих добавок составляло 1 % от массы извести.

Реологические свойства известкового теста оценивались по показателю предельного напряжения сдвига с помощью конического пластометра КП-3.

Сухая строительная смесь предназначена для выполнения теплоизоляционных штукатурных работ, поэтому в состав смеси вводился диатомит при соотношении известь:диатомит=1:3. Применялся диатомит Инзенского месторождения. Готовились смеси с применением извести-пушонки, приготовленной на извести второго сорта с активностью 84 %. Результаты исследований приведены на рис.1, 2, 3.

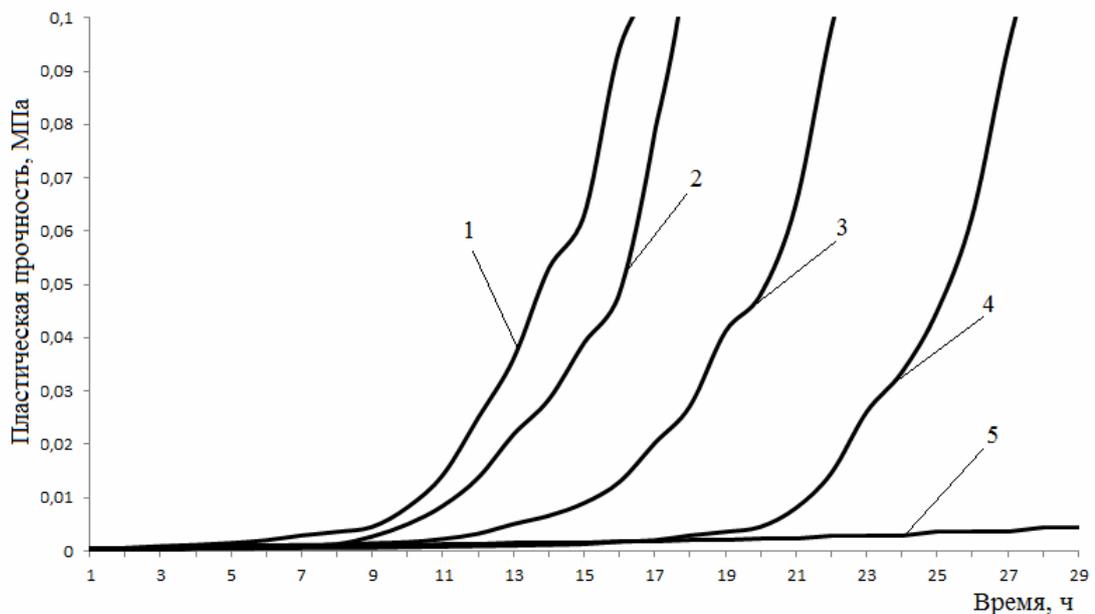


Рис. 1. Кинетика пластической прочности смеси с синтезируемыми алюмосиликатами (первый состав):

1 – смесь на основе ИКВ; 2 – смесь на основе ИКВ с добавкой Sika 3180; 3 – смесь на основе ИКВ с добавкой С-3; 4 – смесь на основе ИКВ с добавкой Кратасол–ПФМ; 5 – смесь на основе извести с добавлением диатомита в соотношении 1:3 (без добавки)

Установлено, что применение синтезированных алюмосиликатов приводит к увеличению набора пластической прочности (см. рис.1, кривая 1; рис.2, кривая 1). Так, пластическая прочность контрольного состава в возрасте 5 ч твердения составляет  $\tau = 0,00089$  МПа (см. рис 1, кривая 5), а применение ИКВ с синтезируемой добавкой, –  $\tau = 0,0020$  МПа (см. рис. 1, кривая 1). Применение синтезированной добавки на основе 1 состава приводит к большему ускорению структурообразования. Пластическая прочность смеси с синтезированной добавкой (первый состав) в возрасте 5 час составляет  $\tau = 0,0020$  МПа, а на основе синтезированной добавки (второй состав)  $\tau = 0,0014$  МПа.

Анализ пластограмм (см. рис. 1, 2) свидетельствует, что применение пластифицирующих добавок приводит к более замедленному структурообразованию. Так, в возрасте 5 часов с момента затворения пластическая прочность состава с добавкой Кратасол – ПФМ в количестве 1 % от массы извести составляет  $\tau = 0,000504$  МПа (см. рис. 1, кривая 4), а при добавлении Sika 3180 в количестве 1 % от массы извести –  $\tau = 0,001$  МПа (см. рис. 1, кривая 2). Пластическая прочность состава с добавкой С – 3 в количестве 1 % от массы извести составляет  $\tau = 0,000504$  МПа (см. рис. 1, кривая 3). Анализ данных свидетельствует, что введение в смесь добавки на основе поликарбоксилатов (Sika 3180) вызывает больший пластифицирующий эффект по

сравнению с добавками на основе лигносульфоната нафталина (С-3) и полиметиленафталинсульфонатов натрия (Кратасол – ПФМ). Так, начальная пластическая прочность смеси с добавкой Sika 3180 составляет  $\tau = 0,000429$  МПа, а с добавками С-3 и Кратасол–ПФМ соответственно  $\tau = 0,00044$  МПа и  $\tau = 0,000479$  МПа. Однако в последующем составы с добавкой Sika 3180 характеризуются более быстрым набором пластической прочности.

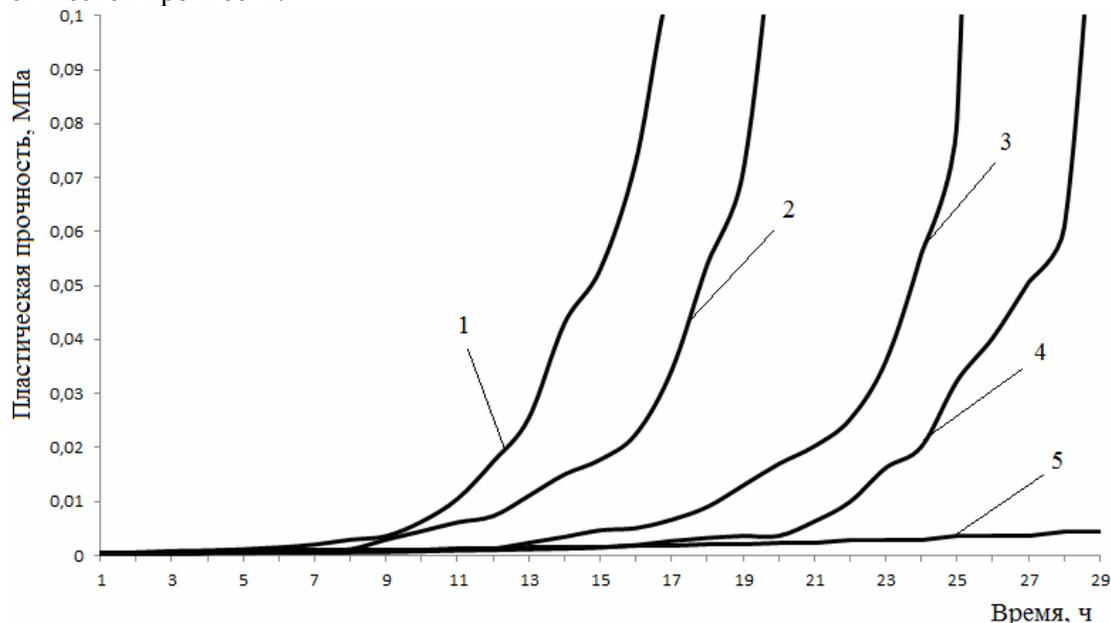


Рис. 2. Кинетика пластической прочности смеси с синтезируемыми алюмосиликатами (второй состав):

1 – смесь на основе ИКВ; 2 – смесь на основе ИКВ с добавкой Sika 3180; 3 – смесь на основе ИКВ с добавкой С-3; 4 – смесь на основе ИКВ с добавкой Кратасол – ПФМ; 5 – смесь на основе извести с добавлением диатомита в соотношении 1:3 (без добавки)

Значения водоредуцирующего эффекта добавок приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Значения водоредуцирующего эффекта добавок

Наименование пластификатора	Содержание добавки, % от массы вяжущего	Состав вяжущего	
		Известь-пушонка	Известь-пушонка+доб.
Кратасол-ПФМ	1	1,33	1,25
С-3	1	1,66	1,73
Melflux <sup>R</sup> 2651 F	1	1,66	1,73

С целью повышения когезионной и адгезионной прочности покрытий на основе разработанной рецептуры ССС вводились редиспергируемые порошки: Neolith P-4400, VINNAPAS 5044N, VINNAPAS 8031H.

Содержание синтездобавки в ИКВ составляло 5 % от массы извести, содержание полимерной добавки составляло 5 % от массы извести.

Введение в рецептуру смеси редиспергируемого порошка вызывает ускорение структурообразования (см. рис. 3). Уже в возрасте 5 часов с момента затворения пластическая прочность состава с добавлением VINNAPAS 5044N составляет  $\tau = 0,0032$  МПа (см. рис. 3, кривая 1), а при добавлении Neolith P-4400 –  $\tau = 0,0022$  МПа (см. рис. 3, кривая 2).

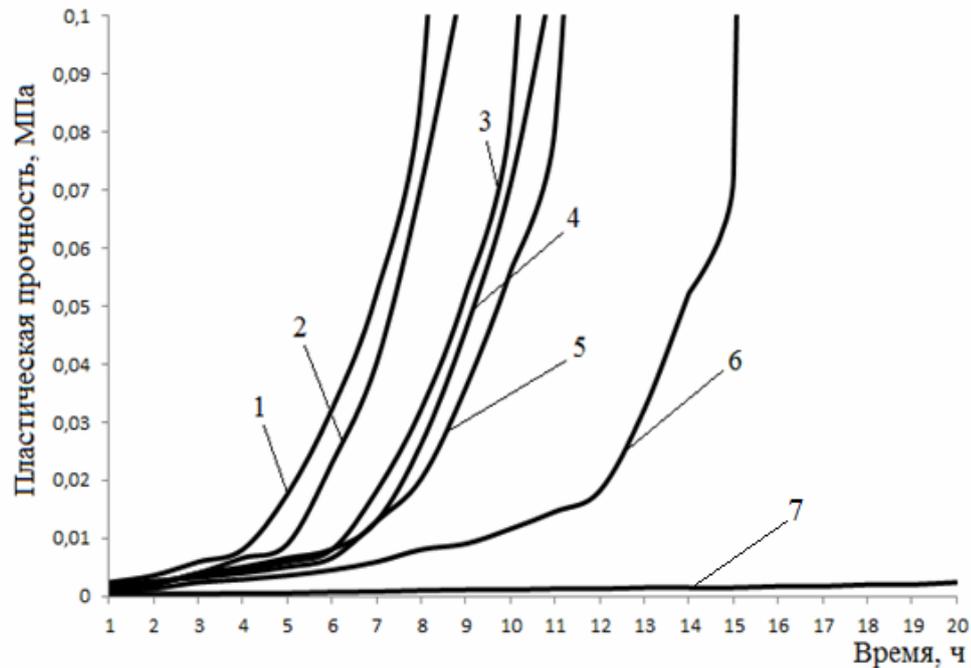


Рис. 3. Кинетика пластической прочности смеси:

1 – смесь на основе ИКВ с синтезируемыми алюмосиликатами (первый состав) с добавлением VINNAPAS 5044N; 2 – смесь на основе ИКВ с синтезируемыми алюмосиликатами (первый состав) с добавлением Neolith P-4400; 3 – смесь на основе ИКВ с синтезируемыми алюмосиликатами (второй состав) с добавлением VINNAPAS 5044N; 4 – смесь на основе ИКВ с синтезируемыми алюмосиликатами (второй состав) с добавлением Neolith P-4400; 5 – растворная смесь на основе ИКВ с синтезируемыми алюмосиликатами (первый состав) с добавлением VINNAPAS 8031H; 6 – растворная смесь на основе ИКВ с синтезируемыми алюмосиликатами (второй состав) с добавлением VINNAPAS 8031H; 7 – контрольный состав (без добавок)

Покрyтия на основе разработанной рецептуры ССС характеризуются повышенными теплоизоляционными свойствами. Средняя плотность отделочного слоя составляет  $0,71 \text{ кг/м}^3$ .

#### Список литературы

1. Логанина, В.И. Структура и свойства синтезированной добавки на основе аморфных алюмосиликатов для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов, И.В. Жирновский. // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 25–28.
2. Loganina, V.I. The limy composite binder with the use of the synthesized aluminosilicates / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, A.D. Ryzhov // Applied Mechanics and Materials Vol. 662 (2014) pp 11-14 Submitted: 01.08.2014 © (2014) TransTechPublications, Switzerland Accepted: 27.08.2014 doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.662.11.
3. Шилина, А.С. Сорбционные свойства нового типа алюмосиликатного сорбента / А.С. Шилина, В.К. Милинчук // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 3. – С. 24–30.

#### References

1. Loganina, V.I. Structure and properties of synthetic additives based on amorphous silica-alumina for dry construction mixtures / V.I. Loganina, A.D. Ryzhov, I.V. Zhirnovsky // Regional architecture and engineering. – 2014. – № 3. – P. 25–28.
2. Loganina, V.I. The limy composite binder with the use of the synthesized aluminosilicates / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, A.D. Ryzhov // Applied Mechanics and Materials Vol. 662 (2014) pp 11-14 Submitted: 01.08.2014 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland Accepted: 27.08.2014 doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.662.11
3. Shilina, A.S. Sorption properties of a new type of aluminosilicate sorbent / A.S. Shilina, V.K. Milinchuk // Proceedings of the universities. Nuclearpower. – 2008. – № 3. – P. 24–30.

*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

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

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

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

**Frolov Mikhail Vladimirovich**,  
Postgraduate of the department «Quality  
management and construction technologies»  
E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЯ АЛЮМИНАТА КАЛЬЦИЯ В ИЗВЕСТКОВЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СОСТАВАХ

В.И. Логанина, М.В. Фролов

Приведены сведения о закономерностях синтеза добавки алюмината кальция золь-гель методом. Показано влияние добавки на структурообразование известковых композиций. Выявлено, что введение добавок на основе золя алюмината кальция способствует ускорению набора пластической прочности.

*Ключевые слова: алюминат кальция, золь-гель метод, реология, известковые отделочные сухие строительные смеси*

## APPLICATION OF SOL CALCIUM ALUMINATE IN THE LIME FINISHING COMPOSITIONS

V.I. Loganina, M.V. Frolov

The information about the patterns of additive synthesis of calcium aluminate sol-gel method is presented. The effect of additives on structure of calcareous compositions is shown. It is revealed that the introduction of additives based on sol alyuminaka calcium helps to speed dial plastic strength.

*Keywords: calcium aluminate, a sol-gel method, rheology, lime finishing dry mixes*

### Введение

Для повышения эксплуатационных свойств покрытий на основе известковых сухих строительных смесей в их рецептуру вводят различные модифицирующие добавки [1, 2, 3].

В продолжение дальнейших исследований нами предлагается использовать в качестве структурирующей добавки золь алюмината кальция. Известно, что известковые растворы твердеют относительно медленно. Основная идея применения системы «золь – гель» как добавки в композиты на основе известкового вяжущего состоит в использовании структуры золя для создания упрочняющего дополнительного структурного элемента [4, 5]. Предполагается, что ведение добавки золя алюмината кальция позволит ускорить процесс отверждения покрытий и повысить их эксплуатационные свойства за счет образования гидроалюмината кальция.

### Методика проведения исследований

Для синтеза алюмината кальция использовали в качестве источника катионов – нонагидрат нитрата алюминия ( $Al^{3+}$ ) и тетрагидрат нитрата кальция ( $Ca^{2+}$ ), а в качестве хелатообразующего и полимеризующего агента – моногидрат лимонной кислоты ( $H_4Cit$ ). Водные растворы реагентов смешивания в мольном соотношении  $Ca^{2+}: Al^{3+}: H_4Cit=1:2:3$ .

Для исследования закономерностей синтеза золя варьировались концентрации исходных растворов и технология их смешивания (табл.1). Готовились растворы

различной концентрации. Опыты 1-3 проводились в определенной последовательности. Смешивали растворы нонагидрата нитрата алюминия ( $Al^{3+}$ ) и тетрагидрата нитрата кальция ( $Ca^{2+}$ ), полученную смесь перемешивали в течение 10 минут, после чего добавляли полимеризующий агент – моногидрат лимонной кислоты ( $H_4Cit$ ). Для протекания реакции поликонденсации полученный раствор подвергали термической обработке при температуре 130 °С в течение одного часа в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ. Через каждые 13-15 минут раствор перемешивался. Для повышения концентрации золя в опытах 4-6 до начала смешивания исходные растворы в течение 30 минут подвергали термической обработке при температуре 100 °С в сушильном шкафу, при этом с периодичностью в 7-8 минут растворы перемешивали. Результаты исследований сведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Зависимость характеристик золя от его концентрации

Номер опыта	Концентрации растворов, %			Концентрация золя, %	Характеристика полученного золя
	Тetraгидрата нитрата кальция $Ca^{2+}$	Нонагидрата нитрата алюминия $Al^{3+}$	Моногидрат лимонной кислоты $H_4Cit$		
1	33,3	33,3	23,1	28,4/19,8*	Устойчивый и технологичный. Однородный, без осадка. Золь жизнеспособен
2	41,2	41,2	33,3	37,7/27,3	Устойчивый и технологичный. Однородный, без осадка. Золь жизнеспособен
3	56,1	42,2	56,9	48,9/37,3	Устойчивый и технологичный. Однородный, без осадка. Золь жизнеспособен
4	78,4	61,5	84	71,3/60,7	Однородный, без осадка. Золь жизнеспособен, технологичен
5	90	77,8	84,6	82,0/73,9	Неустойчивый, склонный к быстрому гелеобразованию. Через 36 часов в золе выпал осадок. Золь не жизнеспособен, не технологичен
6	92,3	87,5	92,3	90,0/84,8	Неустойчивый, склонный к быстрому гелеобразованию. Через 24 часа золь из жидкого состояния перешел в твердое. Золь не жизнеспособен, не технологичен

П р и м е ч а н и е . \* Над чертой приведены значения концентрации золя в % по массе, под чертой – в % по объему.

#### Результаты исследования

Анализ данных, приведенных в табл.1, свидетельствует, что при концентрации золя алюмината кальция более 71,3 % золь является не жизнеспособным, не технологичным. Об этом свидетельствуют также данные изменения вязкости золя в зависимости от его концентрации (рис.1).

Установлено резкое возрастание вязкости при концентрации золя более 71 %, что делает его нетехнологичным. В связи с этим в дальнейших исследованиях применяли золь 71 %-й концентрации.

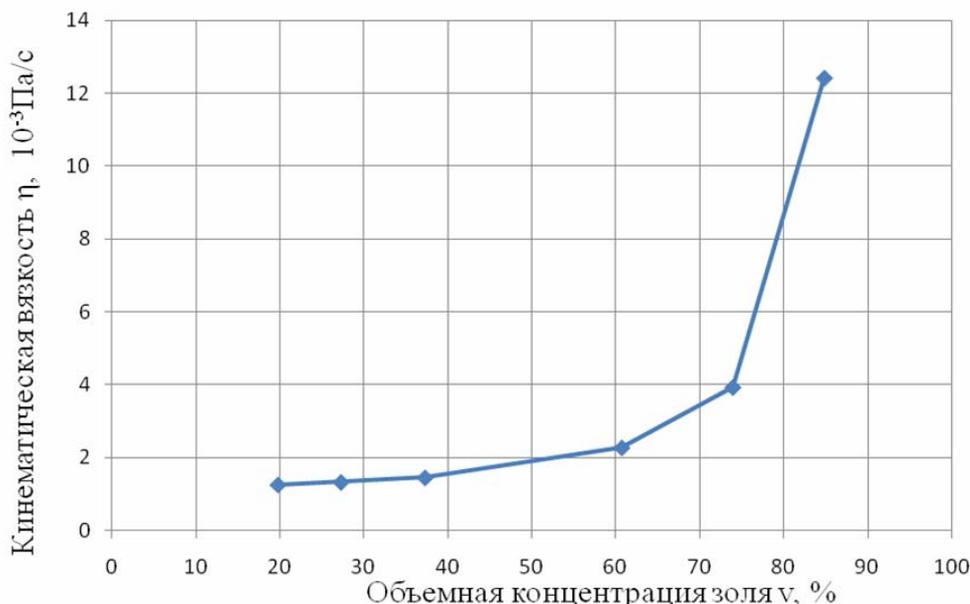


Рис. 1. Изменение кинематической вязкости золя в зависимости от объемной концентрации (через 6 часов после приготовления)

Анализ данных, приведенных на рис 1, свидетельствует, что зависимость вязкости от концентрации золя может быть аппроксимирована уравнением Эйнштейна. В результате получено следующее уравнение:

$$\eta = \eta_0(0,986 + 4,06v_{об} - 16,3v_{об}^2 + 21,87v_{об}^3),$$

где  $\eta$  – вязкость дисперсной системы  $\text{Па} \cdot 10^{-3}$ ;  $\eta_0$  – вязкость дисперсной среды (вода)  $\text{Па} \cdot 10^{-3}$ ;  $v_{об}$  – объемная концентрация дисперсной фазы, л/л.

Известно, что коэффициент  $k_1$  для сферических частиц равен 2,5, в то время как для ассиметричных частиц коэффициент  $k_1$  всегда больше 2,5. Анализируя выше-приведенное уравнение, приходим к выводу, что частицы золя имеют ассиметричную форму.

Синтезированный золь характеризуется плотностью, равной  $1,435 \text{ г/см}^3$ .

Определение размеров частиц золя проводили турбодиметрическим методом в соответствии с уравнением Рэля [6]. Оптическую плотность золя определяли с помощью спектрофотометра КФК-ЗКМ, при этом использовали кюветы длиной 3 см. Результаты исследований и расчетов свидетельствуют, что в возрасте 6 суток радиус частицы золя составил 3 нм.

Среднеквадратический сдвиг частицы  $\bar{\Delta}$  за промежуток времени  $\tau$  определяли по закону Эйнштейна – Смолуховского. Результаты расчета показали, что за 10 с среднеквадратический сдвиг частицы с радиусом 3 нм составил  $2,5 \cdot 10^{-5}$  м, что предопределяет высокую активность золя алюмината кальция при сроке старения 6 суток.

Синтезированный золь характеризуется высокой стабильностью в течение 19 суток, рН золя составляет рН=0,5-1,5.

Эффективность применения золя в известковых составах оценивали по изменению скорости структурообразования. Добавка золя вводилась в воду затворения. Возраст золя составлял 6 суток. В качестве вяжущего применяли известь-пушонку 2 сорта с активностью 86 %. Водоизвестковое отношение составляло В/И=1,1.

Структурообразование оценивалось по изменению реологических свойств и кинетики набора прочности известкового композита. Предельное напряжение сдвига измеряли с помощью конического пластометра КП-3. Содержание добавки золя составляло 1-4 % от массы извести. Результаты исследований приведены на рис.2.

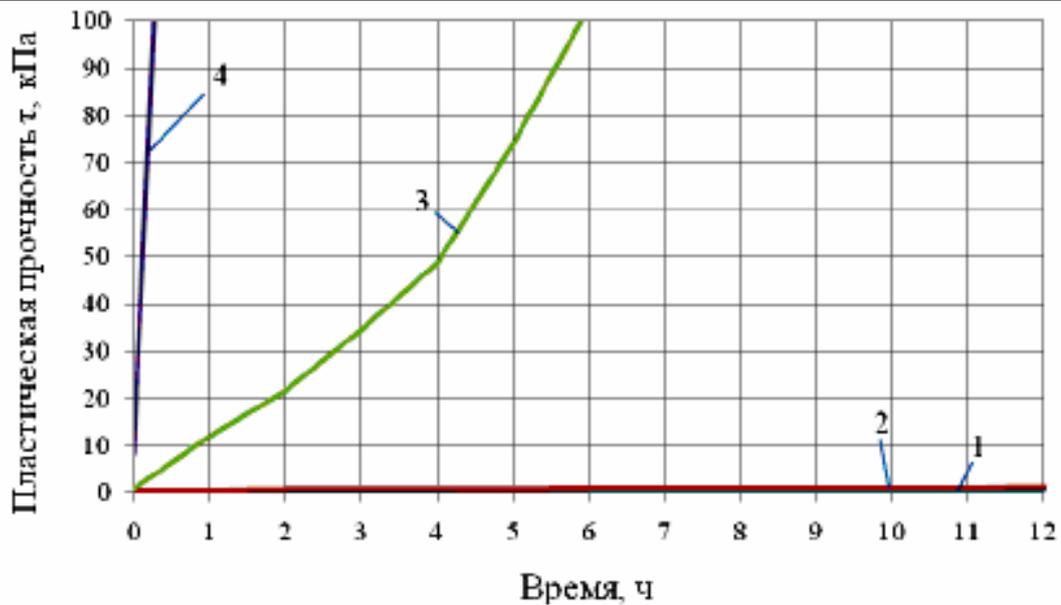


Рис. 2. Изменение пластической прочности известковой смеси:

- 1 – контрольный состав на известковом вяжущем В/И=1,1; 2 – содержание добавки 1 %;  
3 – содержание добавки 2 %; 4 – содержание добавки 4 %

Анализ данных, приведенных на рис.2, показывает, что при введении добавки золя алюмината кальция в известковую смесь наблюдается более быстрый набор пластической прочности. Так, спустя 6 ч после затворения пластическая прочность состава с добавкой золя  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  в количестве 2 % от массы извести составила  $\tau=0,112$  МПа (кривая 3), а у контрольного состава –  $\tau=0,00067$  МПа (кривая 1). При увеличении количества добавки до 4 % от массы извести наблюдается более быстрый набор пластической прочности (кривая 4), однако полученная смесь становится не жизнеспособной. Уменьшение содержания добавки золя до 1 % от массы извести несколько снижает эффект от ее применения на ранней стадии структурообразования. Спустя 6 ч с момента затворения пластическая прочность состава составляет  $\tau=0,001$  МПа (кривая 2), а у контрольного –  $\tau=0,00067$  МПа (кривая 1). Однако в более поздние сроки твердения наблюдается ускорение твердения. Так, на 7-е сутки прочность при сжатии образцов на основе контрольного состава составила  $R_{сж}=0,53$  МПа, а образца на основе состава с добавкой 1 % золя  $R_{сж}=0,6$  МПа, с добавкой 2 % золя –  $R_{сж}=0,64$  МПа.

#### Выводы

Проведенные исследования свидетельствуют об эффективности применения золя алюмината кальция в качестве добавки в сухие строительные смеси с целью улучшения эксплуатационных свойств.

#### Список литературы

1. Логанина, В.И. Штукатурные составы для реставрационных работ с применением окрашенных наполнителей / В.И. Логанина, Л.В. Макарова // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – № 1. – С. 38–40.
2. Логанина, В.И. Известковые отделочные составы с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, И.В. Жерновский, М.А. Садовникова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 55–57.
3. Логанина, В.И. Эффективность применения в сухих строительных смесях органических добавок на основе смешанослойных глин / В.И. Логанина, С.Н. Кис-

лицына, В.В. Черячукин, Э.Р. Акжигитова // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3. – С. 57–60.

4. Логанина, В.И. Золь-гель технология для синтеза кремнийсодержащей добавки известковых отделочных составов / В.И. Логанина, Н.А. Прошина, О.А. Давыдова // Строительные материалы. – 2009. – № 7. – С. 48–49.

5. Комохов, П.Г. Золь-гель как концепция нанотехнологии цементного композита / П.Г. Комохов // Строительные материалы. – 2006. – №9. – С. 14–15.

6. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1982. – С. 260–262.

#### References

1. Loganina, V.I. Plastering compositions for restoration work using colored fillers / V.I. Loganina, L.V. Makarova // Regional architecture and engineering. – 2009. – № 1. – P. 38–40.

2. Loganina, V.I. Lime finishing compositions using synthetic aluminosilicates / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, I.V. Zhernovski, M.A. Sadovnikova // Bulletin Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. – 2014. – № 2. – P. 55–57.

3. Loganina, V.I. Efficacy of dry building mixtures of organic additives on the basis of mixed-clay / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, V.V. Cheryachukin, E.R. Akzhigitova // Regional architecture and engineering. – 2012. – № 3. – P. 57–60.

4. Loganina, V.I. The sol gel process for the synthesis of silicon-containing additives lime finishing compositions / V.I. Loganina, N.A. Proshina, O.A. Davydova // Building materials. – 2009. – № 7. – P. 48–49.

5. Komohov, P.G. The sol-gel as the concept of nanotechnology composite cement / P.G. Komohov // Building materials. – 2006. – №9. – P. 14–15.

6. Frolov, J.G. Colloid chemistry course. Surface phenomena and disperse systems / J.G. Frolov. – М.: Chemistry, 1982. – P. 260–262.

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

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

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

**Щеглова Анна Сергеевна**,  
студентка

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

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

**Shcheglova Anna Sergeevna**,  
student

## ДЕКОРАТИВНЫЕ КАЧЕСТВА РАСТВОРОВ ДЛЯ НАРУЖНОЙ ОТДЕЛКИ СТЕН ИЗ ПЕНОБЕТОНА

М.В.Кочеткова, А.С.Щеглова

Проведен анализ существующих способов отделки пенобетонных стен. Показано влияние декоративных добавок на атмосферостойкость растворов. Дано обоснование отделки наружных стен слоем поризованного полимерраствора.

*Ключевые слова: цветная штукатурка, терразитовая штукатурка, атмосферостойкость, морозостойкость, сопротивляемость переменному увлажнению и высушиванию, паропроницаемость, трещиностойкость, прочность сцепления*

## DECORATIVE MORTARS FOR EXTREMAL FOAM CONCRETE WALL FINISHING

M.V. Kochetkova, A.S. Scheglova

The analysis of existing methods of finishing foam concrete walls is presented. The effect of decorative additives on weather of ability mortars is shown. The substantiation of walls finishing by porous layer of polymermortar is given.

*Keywords: colored plaster, plaster terrazitovye, weather resistance, frost resistance, resistance to alternating wetting and drying, water vapor permeability, fracture toughness, adhesion strength.*

Раствор для защиты пенобетона должен обладать высокой прочностью на сжатие, растяжение, сдвиг; иметь пониженное значение модуля упругости, стойкость к повышенным температурам; обладать низким водопоглощением и водопроницаемостью и рядом других свойств, на которых мы остановимся ниже.

Когда встает вопрос об отделке поверхностей здания, то на первое место попадает известный и испытанный способ – оштукатуривание этих поверхностей. И действительно, штукатурка до сих пор не выходит из широкого применения как летом, так и в холодные дни, но только не для оштукатуривания стен из пенобетона, обладающего значительной паропроницаемостью. По этой причине поровая влага, находящаяся в холодном пенобетоне, мигрирует к наружным поверхностям стены, скапливается там, а потом замерзает, отторгая наружную штукатурку. Вот почему мы обязаны наносить штукатурку не из тяжелого и плотного цементного раствора, а применять раствор для штукатурки с паропроницаемостью, равной или близкой паропроницаемости защищаемого пенобетона. Лучше всего применять штукатурные растворы с введением в них пенообразователя, т.е. те же пенобетоны. Но поскольку введение пены в раствор снижает его прочность, применяют растворы более плотные, чем пенобетон, повышая плотность раствора до 1500 кг/м<sup>3</sup>. Такой раствор обладает надежным сцеплением с

пенобетоном и хорошо пропускает накапливающуюся в пенобетонной стене влагу, исключая отторжение штукатурного слоя. Такие штукатурные покрытия давно применяют при отделке стеновых панелей из ячеистого бетона или пенобетона в комбинации с декорирующими составами как до тепловой обработки панелей, так и после нее. Так, для декорирования поверхностей панелей применяют крошку каменных пород, брекчии из керамических плиток, цельные мелкие стеклянные или керамические плитки. Можно такие панели окрашивать атмосферостойкими эмалями.

Для ответа на поставленные в настоящей статье вопросы, как и еще не поставленные, нами был проведен комплекс исследований, направленных на создание нового материала для защитно-отделочных покрытий пенобетонных наружных стен отапливаемых зданий, рассчитанных на многолетнюю безремонтную эксплуатацию. Было установлено, что таким материалом является пенополимерцементный раствор на основе синтетического латекса СКС-65ГП (синтетический каучуковый стирольный – глубокой полимеризации), стабилизированный казеинатом аммония с добавлением неионогенного мыла ОП-7. Латекс в раствор добавляли по весу до полимерцементного отношения П:Ц=0,1.

Для наружной отделки стен здания из пенобетона применяют цветные, а также терразитовые штукатурки. Цветные штукатурки делают на основе цементно-известковых вяжущих с добавлением щелочестойких пигментов и белого кварцевого песка. Цветные растворы получают, используя для синего цвета – ультрамарин; зеленого – окись хрома; красного – сурик; желтого – золотистую охру. Раствор из терразитовых смесей получается более декоративным в связи с увеличением ассортимента и количества цветовых добавок. Для создания фактуры поверхности ее следует обнажить, для чего раствор циклюют, удаляя цементную пленку с отделяемой поверхности. Время циклевания определяют пробными операциями через 3-4 часа после нанесения накрывки. При пробной операции слюда и крупные песчинки не должны вылетать из обрабатываемой поверхности.

Декоративные добавки снижают прочность и морозостойкость цементных растворов. Поэтому превышение их количества не допускается более чем 10 % от веса цемента. В связи с этим потребовалось провести ряд испытаний для окрашенных пенополимерцементных растворов.

Испытания проводились для оптимального состава раствора 1:3 с латексом СКС-65ГП при П:Ц=0,10 с объемной массой 1300-1500 кг/м<sup>3</sup>, выбранного на основании предшествующих исследований. В качестве добавок применяли до 5 % пигмента и до 5 % слюды от веса цемента.

Прочность при сжатии после 28-дневного хранения в воздушно-сухих условиях осталась в пределах прочности образцов без декоративных добавок и составила 0,94 МПа. А прочность после 35 циклов замораживания и оттаивания составила 1,18 МПа, т.е. получено приращение прочности, как и в образцах без декоративных добавок.

Прочность сцепления с пенобетоном после 28 дней воздушно-сухого твердения составила 0,9 МПа. Также не изменилась прочность сцепления при испытании 2-слойных образцов с декоративными добавками на морозостойкость и на переменное увлажнение и высушивание по сравнению с образцами без добавок.

Хранение образцов на открытом полигоне в течение 1 года не снизило прочность пенополимерцементного раствора при сжатии. Прочность сцепления с пенобетоном несколько понизилась и составила 0,81 МПа.

При испытании в везерометре путем периодического дождевания, высушивания и облучения ультрафиолетовыми лучами в течение 500 часов не снизило прочность при сжатии и не ухудшило цветостойкость. Прочность при сжатии составила 0,79 МПа, т.е. отмечается незначительное падение прочности до 0,02 МПа.

Цветостойкость раствора зависит от качества цемента и стойкости пигмента к щелочной среде, а также к ультрафиолетовому облучению.

Для проверки воздействия окружающей среды на цветостойкость и пыляемость растворов с различными добавками проверяли составы с П:Ц=0 и П:Ц=0,1 на латексе СКС-65ГП без пигмента и с пигментами: 1) сурик железный (5 % от веса цемента) –

красный; 2) ультрамарин – синий; 3) окись хрома – зеленый. Изменение белизны определяли с помощью фотометров путем сравнения испытуемых образцов с контрольными образцами, хранившимися в темном шкафу. Результаты наблюдений представлены в таблице.

Пигмент	П:Ц	Белизна образцов в % к эталону белизны на основе барита				
		Контрольные образцы	После испытания			
			В везерометре 500 час	Замораживание и оттаивание 35 циклов	Увлажнение и высушивание 30 циклов	На открытом полигоне 1 год
Без пигмента	0	61	60	59	60	59
	0,1	60	60	59	60	58
Сурик железный – красный	0	38	41	47	39	40
	0,1	39	41	45	40	41
Ультрамарин – синий	0	40	48	49	41	42
	0,1	41	51	55	44	43
Окись хрома – зеленый	0	42	49	51	43	44
	0,1	43	53	57	46	45

Кроме того, каждый образец подвергался тщательному визуальному осмотру и сравнению с контрольным. Введение латекса СКС-65ГП в декоративный раствор в количестве до П:Ц=0,10 не ухудшает декоративных свойств пенополимерцементного раствора, но дальнейшее увеличение П:Ц вызывает его потемнение.

Можно полагать, что долговечность полимерных растворов с содержанием латекса такая же или немного выше, чем обычного раствора. Долговечность этого материала обусловлена хорошей морозостойкостью, высокой прочностью на растяжение и повышенной трещиностойкостью.

Выводы:

1. Прочность защитно-отделочного раствора при сжатии, растяжении и сдвиге пенополимерцементного раствора, а также его упруго-эластические свойства подтверждают возможность использования раствора для отделки стен из пенобетона.

2. Раствор с латексом сокращает водопотребность по сравнению с раствором без полимера. В:Ц уменьшается с 0,54 до 0,4, сохраняет хорошие водоизолирующие свойства в течение длительного времени.

3. Паропроницаемость полностью обеспечивается при использовании полученных пенополимерцементных растворов.

4. На физико-механические и декоративные свойства пенополимерцементного раствора с латексом СКС-65ГП не оказывают существенного влияния атмосферные воздействия. Раствор обладает достаточной морозостойкостью, стойкостью к переменному увлажнению и высушиванию, к ультрафиолетовому облучению и повышенным температурам.

5. Раствор практически не меняет своих свойств при введении декоративных добавок, мало загрязняется и легко восстанавливает первоначальный вид при циклевании.

6. Пенополимерцементный раствор на основе латекса СКС-65ГП с П:Ц=0,10 и с объемной массой 1300-1500кг/м<sup>3</sup> может быть рекомендован в качестве защитно-отделочного покрытия стен 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. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Гусев, Н.И. Исследование декоративных свойств поризованных растворов на атмосферные воздействия / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, Е.С. Аленкина // Современная техника и технологии. – 2014. – №12(40). – С. 115–118.
6. Гусев, Н.И. Пенополимерцементные композиты на защите легкобетонных стен от воздействия окружающей среды / Н.И. Гусев, А.С. Щеглова // Современная техника и технологии. – 2014. – №11(39). – С. 97–99.
7. Гусев, Н.И. Задачи исследования защитных свойств полимерцементных поризованных растворов для стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, А.С. Щеглова // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №12(44). – С. 84–87.
8. Щеглова, А.С. Задачи исследования защитных свойств полимерцементных поризованных растворов для стен из пенобетона / А.С. Щеглова, Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №10-1(42). – С. 125–128.
9. 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.
10. Гусев, Н.И. Исследование намачивания и высушивания пенополимерцементных растворов для защиты покрытий из пенобетона / Н.И. Гусев, К.С. Паршина // Современная техника и технологии. – 2014. – №12(40). – С. 86–89.

#### References

1. Gusev, N.I. Strength characteristics of polymer-matrix composites for the outer coating of the walls of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshin // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P.36–40.
2. Gusev, N.I. Adhesion strength penopolimertsementnyh solutions with foam concrete exterior walls of heated buildings / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshin // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P.52–57.
3. Gusev, N.I. The research methodology of physical and mechanical properties of foampolimercement mortars to protect the outer walls / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P.36–40.
4. 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.
5. Gusev, N.I. Investigation of decorative properties of porous mortars on weathering / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, E.S. Alenkina // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P.115–118.
6. Gusev, N.I. Foampolimercement composites Protection of light concrete walls from the environment / N.I. Gusev, A.S. Shcheglova // Modern techniques and technologies. – 2014. – №11 (39). – P.97–99.
7. Gusev, N.I. Objectives of the study of protective properties of porous polymer-solutions for the walls of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern scientific research and innovation. – 2014. – №12 (44). – P.84–87.

8. Shcheglova, A.S. Objectives of the study of protective properties of porous polymer-solutions for the walls of the foam / A.S. Shcheglova, N.I. Gusev, M.V. Kochetkova // Modern scientific research and innovation. – 2014. – №10-1 (42). – P.125–128.

8. Kochetkova, M.V. Prerequisites for the selection of optimal compositions foampolimercement compositions for protective and decorative coatings wall of foam / M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, E.S. Alenkina // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P. 115–118.

10. Gusev, N.I. The study of wetting and drying foampolimercement mortars to protect the coatings from concrete / N.I. Gusev, K. S. Parshina // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P.86–89.

*Мордовский государственный университет имени  
Н.П. Огарева*

Россия, 430000, г. Саранск,  
ул. Советская, 24,  
тел./факс: (8342)48-25-64

**Леснов Виталий Викторович**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Строительные материалы  
и технологии»  
E-mail: VVL377MGU@rambler.ru

*The Mordvian State University named  
after N.P.Ogaryov*

Russia, 430005, Saransk, 24, Soviet St.,  
tel./fax: (8342)48-25-64

**Lesnov Vitaliy Victorovich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Building materials and  
technology»  
E-mail: VVL377MGU@rambler.ru

## СТОЙКОСТЬ В КИСЛОЙ СРЕДЕ МАТРИЧНЫХ И КЛЕЕВЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СОСТАВОВ КАРКАСНЫХ БЕТОНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ\*

В.В. Леснов

Исследована стойкость в слабокислой среде цементных матричных и клеевых композиций, полученных по традиционной и интенсивной технологиям. Получены зависимости изменения микротвердости по сечению образца и коэффициента химстойкости от времени экспонирования. Выявлено повышение стойкости композитов, приготовленных по интенсивной технологии.

*Ключевые слова: цементные композиты, каркасный бетон, микротвердость, коэффициент химстойкости, технология изготовления*

## STABILITY IN ACIDIC ENVIRONMENT OF MATRIX AND ADHESIVE CEMENT COMPOSITIONS OF CARCASS CONCRETES OBTAINED BY INTENSIVE TECHNOLOGIES

V.V. Lesnov

The resistance of cement matrix and adhesive compositions in acid environment, obtained by traditional and intensive technologies is investigated. The dependences of changing chemical resistance and microhardness in the sample section from the time of exposure in the environment are received. Increase in resistance of the composites prepared by intensive technology is revealed.

*Keywords: cement composites, carcass concrete, microhardness, chemical resistance coefficient, manufacturing technology*

Создание новых и совершенствование известных строительных композитов с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, пониженной материалоемкостью и требуемой долговечностью является важнейшей задачей в области строительного материаловедения.

Бетон на цементных вяжущих является самым распространенным конструктивным материалом и занимает лидирующее положение при производстве строительных конструкций и сооружений.

Анализ литературных источников показывает, что многими авторами предлагаются эффективные методы и технологии, позволяющие улучшать физико-механические свойства цементных вяжущих, например за счет сухого и мокрого домозла цемента,

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-97180 р\_поволжье\_a-2.

применения химических добавок, создания больших градиентов скоростей при перемешивании, активации вяжущего ультразвуковыми и электромагнитными полями и др. [1, 2], при этом вопросам долговечности уделяется незначительное внимание [3].

Одним из способов решения проблемы долговечности цементных композитов является применение каркасной технологии изготовления бетонов, которая заключается в получении на первом этапе высокопористого каркаса путем соединения зерен крупного заполнителя клеевой композицией с последующей пропиткой пустот каркаса матричным составом на втором этапе [4]. Каркасная технология позволяет экономить до 10–15 % вяжущего, управлять структурообразованием на макро- и микроуровнях, создавать композиционные материалы на различных типах связующих, которые по своей природе могут быть даже не совместимы друг с другом [4].

В работах [5, 6] показано, что кислая среда по своему воздействию на цементный камень является наиболее агрессивной. В настоящее время ухудшение экологической обстановки приводит к усилению агрессивности поверхностных осадков и грунтовых вод за счет увеличения концентрации в них окиси серы, что способствует быстрой потере эксплуатационных и физико-механических свойств цементных композитов. Поэтому исследование стойкости в кислых средах цементных композитов, полученных по интенсивным технологиям, является актуальной задачей.

Исследование стойкости матричных и клеевых цементных композитов проводили на портландцементе марки ЦЕМ I 42,5Б ОАО «Мордовцемент». За контрольный был принят состав, приготовленный по традиционной технологии (ТРТ). По интенсивной технологии (ИИТ) составы готовили в скоростном смесителе при скорости перемешивания 850 об/мин с равным водоцементным отношением и одинаковой подвижностью по отношению к контролю. Образцы имели размеры 2×2×7 см, время перемешивания всех составов составляло 2 мин. Образцы выдерживали 1 сутки в форме, после чего их распалубивали и отверждали в пропарочной камере в течение 8 ч при температуре 95 °С с естественным остыванием.

Предварительными исследованиями было определено, что для моделирования слабокислой среды по кинетике и характеру воздействия наиболее подходит 2 %-й раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Испытания по определению микротвердости и коэффициента химической стойкости образцов при сжатии проводились через 7, 14, 28, 42 и 56 суток экспонирования в среде.

Изменение микротвердости по поперечному сечению цементных композитов определяли склерометрическим методом по ГОСТ 21318-75, который заключается в нанесении на испытываемую поверхность царапины пирамидальным алмазным индентором и измерении ширины ее канавки. Микротвердость при использовании трехгранного индентора определяли по формуле

$$H_p = 3,138P / b^2,$$

где  $P$  – нормальная нагрузка, Н;  $b$  – ширина канавки, мм.

Коэффициент химической стойкости определяли в соответствии с ГОСТ 25881–83 по формуле

$$K_{xc} = R_t / R_o,$$

где  $R_o$  и  $R_t$  – соответственно предел прочности при сжатии образцов до и после выдерживания в агрессивной среде.

Графики кинетики изменения микротвердости цементных композитов, полученных по ТРТ, ИИТ при одинаковом В/Ц и ИИТ при равной подвижности составов, приведены на рис. 1, 2 и 3. Кривые микротвердости после 56 сут экспонирования образцов в агрессивной среде показаны на рис. 4.

Как видно из приведенных графиков, изменение микротвердости (рис. 1–3) имеет следующий характер: в ранние сроки, при адсорбции серной кислоты цементным камнем, происходит накопление малорастворимых солей без разрушения поверхностного слоя. Эти процессы приводят к уплотнению структуры внешнего слоя цементного камня и образованию зоны с более высокими механическими характеристиками,

чем у внутренних слоев, не подвергнутых воздействию кислоты. Дальнейшее выдерживание в агрессивной среде приводит к разрушению поверхностного слоя образца с образованием рыхлой бесвязной массы и продвижению слоя упрочнения вглубь цементного камня. Поэтому после стабилизации коррозионных процессов, происходящих при воздействии агрессивной среды, в цементном композите можно выделить три зоны: разрушения, упрочнения и не подвергнутую коррозии.

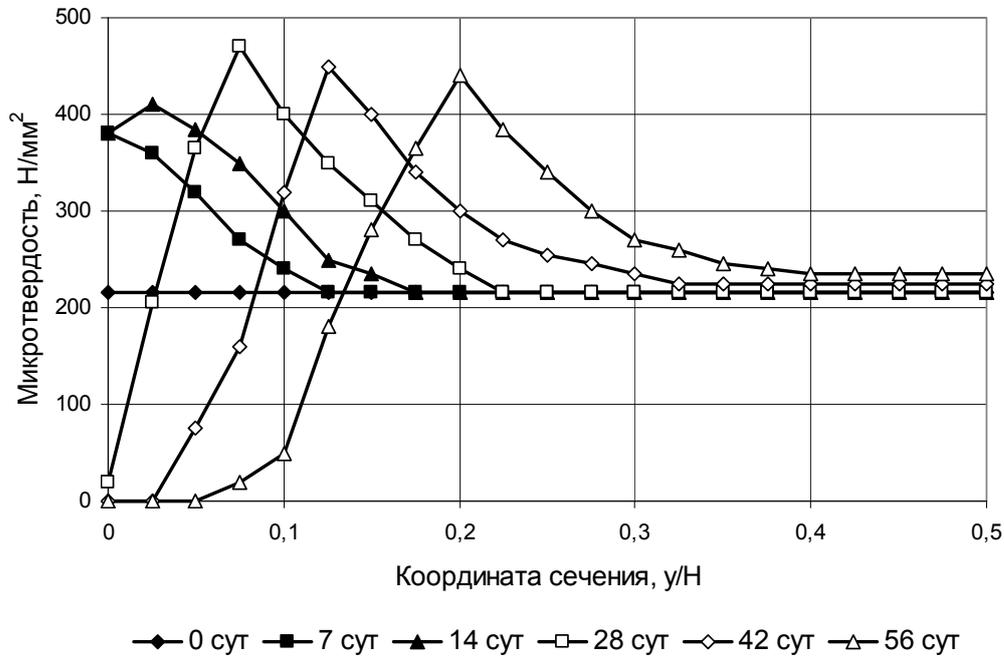


Рис. 1. Кинетика изменения микротвердости по поперечному сечению цементных композитов, приготовленных по ТРТ, при В/Ц = 0,35

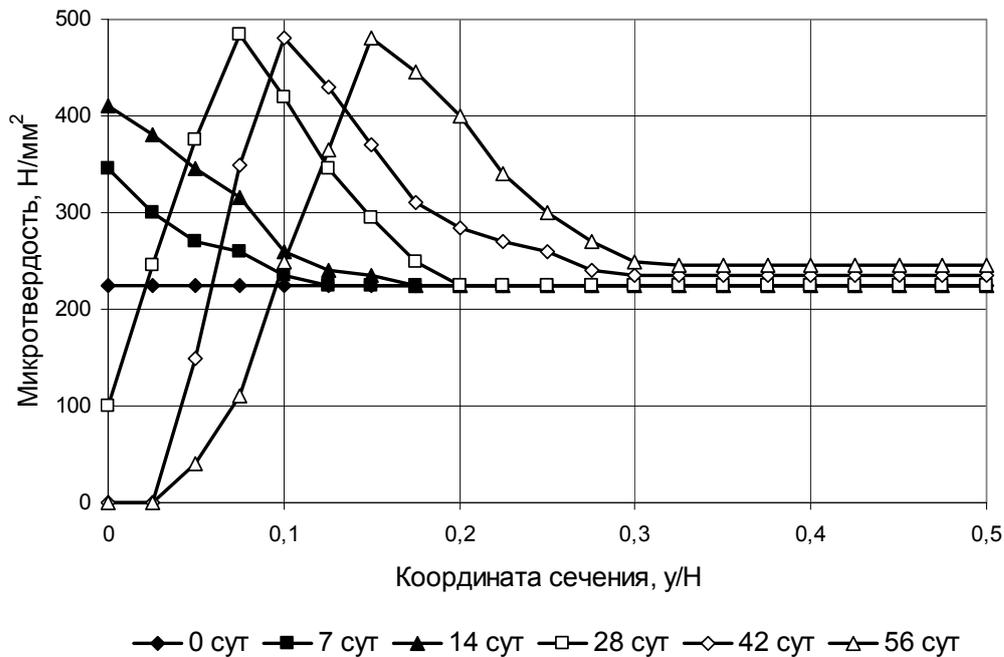


Рис. 2. Кинетика изменения микротвердости по поперечному сечению цементных композитов, приготовленных по ИНТ, при В/Ц = 0,35

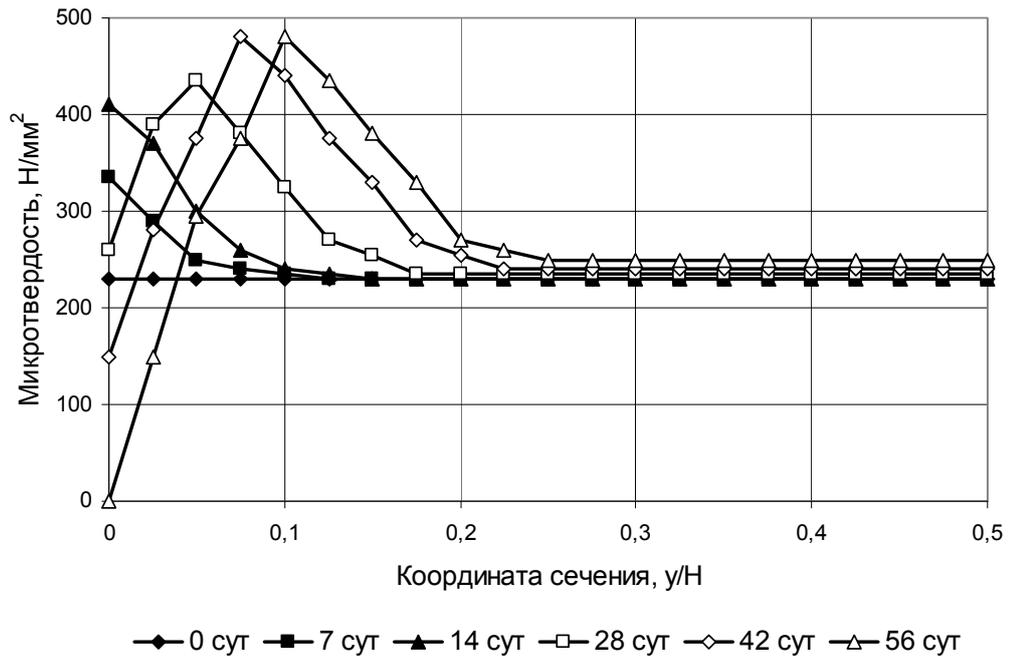


Рис. 3. Кинетика изменения микротвердости по поперечному сечению цементных композитов, приготовленных по ИНТ, В/Ц = 0,31

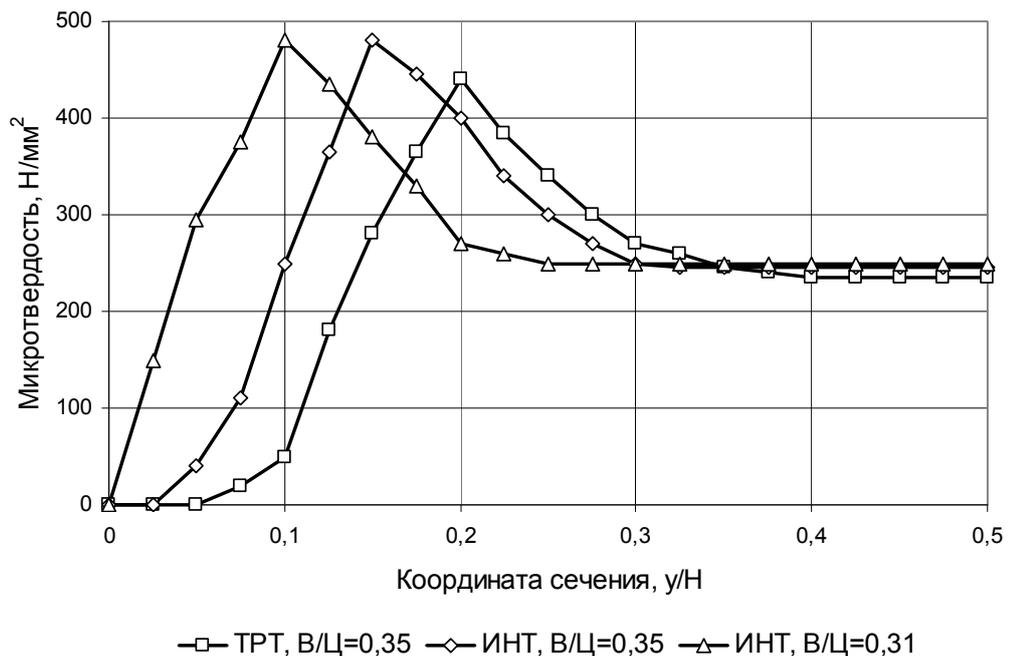


Рис. 4. Изменение микротвердости по поперечному сечению цементных композитов после 56 суток экспонирования в 2 %-м растворе  $H_2SO_4$

Характер изменения кривых микротвердости цементных композитов в зависимости от времени экспонирования и технологии приготовления показывает, что возникают одинаковые закономерности, которые различаются только скоростью происходящих процессов.

Сравнение изменения микротвердости цементных композитов показывает, что большую стойкость имеют образцы, приготовленные по ИНТ с равной подвижностью и одинаковым водоцементным отношением. Как видно из рис. 4, после 56 суток экспонирования зона, подвергнутая коррозии, у них меньше, чем у композита, приго-

товленного по традиционной технологии. Это объясняется тем, что приготовление смесей при высокоскоростном перемешивании создает у цементных композитов более плотную, однородную и мелкопористую структуру [3].

Кинетика изменения коэффициента химстойкости, определяемого по показателю прочности при сжатии цементных композитов, выдержанных в 2 %-м растворе  $H_2SO_4$ , в зависимости от технологии их приготовления, представлена на рис. 5.

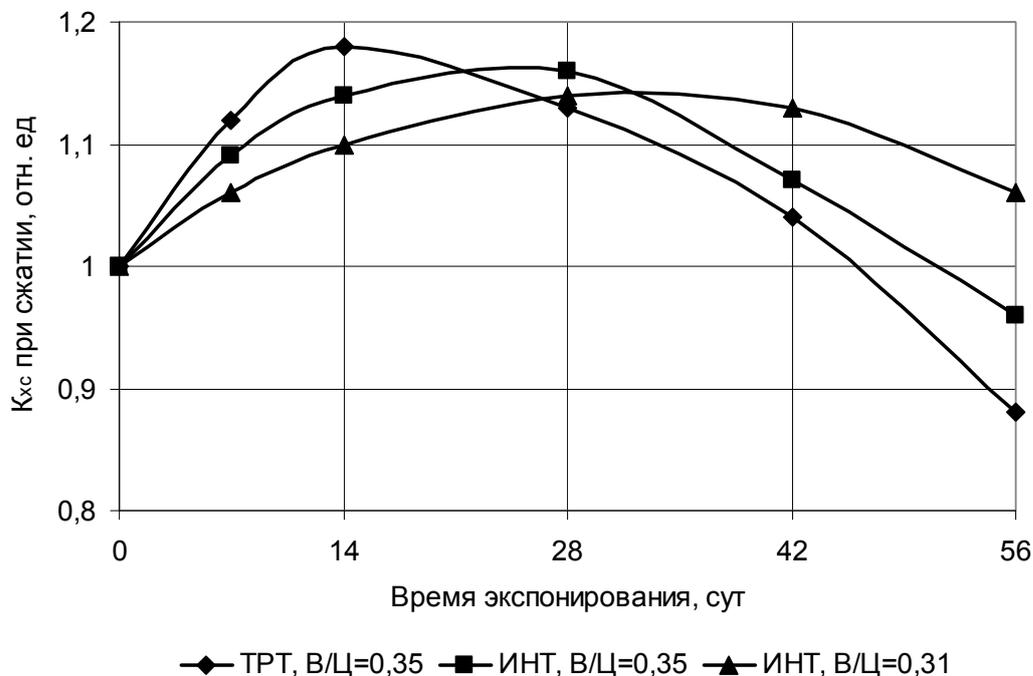


Рис. 5. Изменение коэффициента химстойкости в зависимости от технологии приготовления цементных композитов и времени экспонирования

Как видно из графика (см. рис. 5), у всех составов в первоначальные сроки экспонирования происходит повышение коэффициента химической стойкости, а при дальнейшем взаимодействии с агрессивной средой он снижается. Так, у композитов, приготовленных по традиционной технологии, увеличение коэффициента химической стойкости наблюдается в течение 14 суток, у составов, полученных по ИНТ с одинаковым водоцементным отношением и ИНТ с равной подвижностью, – до 28 суток. Наибольший прирост коэффициента химической стойкости в первоначальные сроки экспонирования характерен для образцов, приготовленных по традиционной технологии.

После 56 суток экспонирования наибольшей относительной прочностью обладает состав, приготовленный по ИНТ, с подвижностью, равной подвижности контрольного состава (1,06), затем – по ИНТ с одинаковым водоцементным отношением (0,96); наименьшее значение прочности имеет состав, приготовленный по традиционной технологии (0,89).

На основе полученных результатов испытаний можно сделать следующие выводы:

- применение склерометрического метода при изучении стойкости цементных клеевых и матричных композиций в 2 %-м растворе серной кислоты позволяет получить подробную картину изменения микротвердости по сечению образца;
- кинетика кривых изменения микротвердости показывает сложный характер взаимодействия агрессивной среды с цементным композитом; так, после стабилизации коррозионных процессов в нем можно четко выделить зону разрушения, упрочнения и не подвергнутую коррозии;
- положительное влияние на стойкость в кислой среде клеевых и матричных цементных композитов, приготовленных по интенсивной технологии, сказывается в более поздние сроки воздействия агрессивной среды;

- характер изменения коэффициента химической стойкости при сжатии цементных композитов показывает, что в начальные сроки воздействия агрессивной среды происходит его увеличение и только затем – снижение, при этом клеевые и матричные цементные композиты, полученные по интенсивной технологии, характеризуются меньшим падением прочности.

#### Список литературы

1. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – М., 1998. – 768 с.
2. Совалов, И.Г. Методы активации цемента и влияние активации на свойства бетонов / И.Г. Совалов, Ю.Г. Хаютин. – М.: Стройиздат, 1963. – 41 с.
3. Леснов, В.В. Химическое сопротивление цементных композиций, приготовленных по интенсивной технологии : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Леснов. – Саратов, 1996. – 16 с.
4. Ерофеев, В.Т. Каркасные строительные композиты : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.Т. Ерофеев. – М., 1993. – 52 с.
5. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев; под общ. ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
6. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шисль. – [Совм. изд. СССР – ЧССР – ФРГ]. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.

#### References

1. Batrakov, V.G. Modified concretes. Theory and practice / V.G. Batrakov. – M., 1998. – 768 p.
2. Sovalov, I.G. Methods of activation of cement and influence of activation on the properties of concrete / I.G. Sovalov, Y.G. Hawtin. – M.: Stroiizdat, 1963. – 41 p.
3. Lesnov, V.V. Chemical resistance of cement compositions prepared by to intensive technology: author. dis. ... cand. of technical sciences / V.V. Lesnov. – Saratov, 1996. – 16 p.
4. Erofeev, V.T. Carcass building composites: author. dis. ... dr. of technical sciences / V.T. Erofeev. – M., 1993. – 52 p.
5. Moskvin, V.M. Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of protection / V.M. Moskvin, F.M. Ivanov, S.N. Alekseev, E.A. Guzeev; under the general editorship of V.M. Moskvin. – M.: Stroiizdat, 1980. – 536 p.
6. Alekseev, S.N. Durability of reinforced concrete in aggressive environment / S.N. Alekseev, F.M. Ivanov, S. Mudry, P. Schissl. – [Compatible with. ed. USSR – Czechoslovakia – Germany]. – M.: Stroiizdat, 1990. – 320 p.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

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

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

**Гусев Николай Иванович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»

**Щеглова Анна Сергеевна**,  
студентка

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

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

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

**Shcheglova Anna Sergeevna**,  
student

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДОЧНЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, А.С. Щеглова

Представлена кинетика усадочных проявлений в полимерцементных композитах. Показана высокая эффективность защитно-отделочных покрытий на основе полимерцементных композитов с латексом.

*Ключевые слова: усадочные деформации, значение усадочных составов с ПВАД, усадка в составах с латексом, температурные деформации, коэффициент линейного расширения*

## RESEARCH OF SHRINKAGE AND TERMAL DEFORMATIONS FOAMPOLIMERCEMENT SOLUTIONS

M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, A.S. Scheglova

The kinetics of shrinkage manifestations in polymer-composites is shown. High efficiency of protective finishing coverings on the basis of polymercement composites with latex is demonstrated.

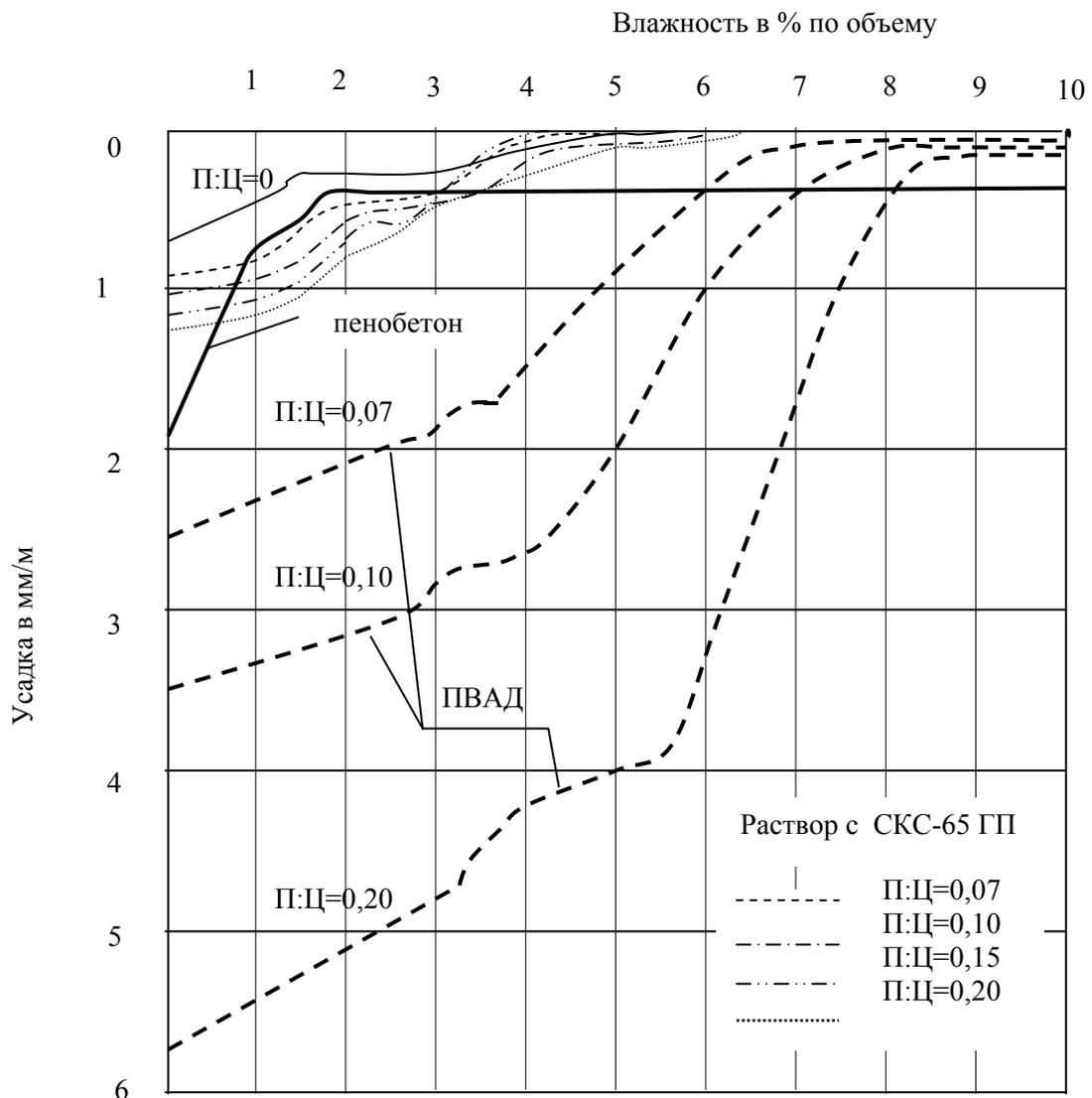
*Keywords: shrinkage deformation, the value of shrinkage with the PVA dispersion formulations, shrinkage in latex compositions, thermal deformations, the coefficient of linear expansion*

Защитно-отделочные покрытия, подвергающиеся многообразным процессам увлажнения и высушивания в процессе эксплуатации стен, должны обладать сопротивлением усадочным деформациям. А от величины усадки в большой степени зависит трещиностойкость материала, его прочность при растяжении и, в конечном счете, долговечность. Все эти характеристики крайне необходимы в составах для защитно-отделочных покрытий. При этом их можно значительно улучшить, создавая композитные смеси на основе добавок в цементный раствор полимеров. Мы применяли полимеры, обладающие высокими адгезионными свойствами. Это поливинилацетатная дисперсия (ПВАД) и синтетический каучуковый стирольный латекс СКС-65ГП.

Введение в цементный раствор полимера приводит к увеличению его прочности при растяжении, что способствует повышению трещиностойкости. Одновременно с этим возрастает и усадка. Очевидно, с повышением количества полимера его глобулы при точечном контакте дополнительно стягивают скелет цементного камня, что и приводит к повышению общей усадки полимерцементного раствора. Усадочные

явления проявляются как в начале твердения бетона, так и при последующем его увлажнении и высыхании. Причем величина усадки становится тем выше, чем больше полимер подвержен набуханию при увлажнении. Например, раствор с ПВАД характеризуется значительно большей усадкой, чем каучукцементные растворы.

Нами изучалась усадка на призмах  $4 \times 4 \times 16$  см с реперами из нержавеющей стали. После 3-суточного увлажнения проводился замер образцов с помощью индикаторов с ценой деления 0,02 мм. Образцы хранили в герметичных эксикаторах над слоем обезвоженного хлористого кальция. Замеры и взвешивания проводили через каждые четверо суток до прекращения изменения в весе и в отсчетах по индикатору. Затем образцы высушивали до постоянного веса и делали последний замер и взвешивание. По имеющимся данным подсчитывали величину усадки в мм/м при соответствующей влажности и строили кривые усадки (см. рисунок).



Усадка полимерцементных растворов и пенобетона

Проведенные исследования подтвердили значительную усадку растворов с ПВАД. Она превышает конечную усадку пенобетона более чем в два раза. На основании этого следует признать малую эффективность защитных покрытий с ПВАД при испытании их на морозостойкость и переменное увлажнение и высушивание. Растворы с СКС-65ГП имеют показатели усадки, близкие к показателям пенобетонов. И только при интенсивном высыхании, когда остаточная влажность становится менее 1 %, наблю-

дается повышенная усадка. Если добавка латекса не превышает 0,2 % от веса цемента, усадки у пенобетона и полимербетона практически одинаковые, и лишь при существенном отличии от влажности этих материалов их усадочные деформации могут отличаться на 0,3 мм/м.

Изучая усадку полимерцементных растворов при их твердении, можно отметить, что усадка растворов с латексом заканчивается через 7–8 суток, достигая величины 0,3 мм/м. У растворов с ПВАД усадочные деформации продолжают накапливаться более 30 суток. В начальный период твердения усадочные деформации в растворах с латексом протекают менее интенсивно, чем в растворах с ПВАД.

Для надежной совместной работы пенобетона и защитно-отделочного раствора нужно, чтобы коэффициенты их температурного расширения были одинаковыми или близкими по значению. Для пенобетонов коэффициент линейного расширения  $\alpha$  при их охлаждении и нагреве от 0 до +100° С принимается  $\alpha = 0,000008$ .

Нами определялись значения коэффициентов температурного расширения для пенополимерцементных растворов. Их значения в диапазоне температур от –10 °С до +100 °С оказались равными  $(8\div 9) \times 10^{-6}$  с некоторым возрастанием по мере увеличения полимерцементного отношения.

Влияние колебаний температуры в защитно-отделочном покрытии стен из пенобетона изучалось путем анализа прочности при сжатии образцов в условиях повышенных температур: +20; +50; +70; +90 и +110 °С, хотя фактический нагрев фасадных поверхностей не превышал +75 °С (см. таблицу).

Полимер	П:Ц	Прочность при сжатии (МПа) в условиях температур				
		+20°С	+50°С	+70°С	+90°С	+110°С
–	0	4,2	4,8	4,5	4,2	4,6
ПВАД	0,07	5,7	5,3	5,3	5,9	4,9
	0,10	7,6	7,8	6,4	6,4	5,7
	0,20	11,8	8,2	6,1	5,6	5,6
СКС-65ГП	0,07	4,5	4,7	4,5	4,4	3,9
	0,10	5,9	5,6	5,0	5,8	4,8
	0,20	5,6	3,5	3,2	2,9	2,7

Анализ прочности при повышенных температурах показал некоторое снижение прочности и модуля упругости композитов, что можно объяснить размягчением полимерной составляющей и переходом ее в высокоэластическое состояние в пенополимерцементном растворе.

Проведенные испытания показали, что с ростом отношения П:Ц возрастает и проявление размягчения полимера во всех составах, выражающееся в снижении прочности и модуля упругости защитного раствора, нанесенного на пенобетон. Так, в цементно-полимерном покрытии на основе ПВАД при П:Ц=0,2 прочность при +110 °С снизилась более чем в два раза, а в составе на основе латекса – в 2,2 раза. Однако в диапазоне П:Ц от 0,07 до 0,10 это снижение несущественно, а при температурах до +75°С использование таких растворов для защитных целей вполне оправдано, в том числе и исходя из требований долговечности покрытий.

#### Список литературы

1. Гусев, Н.И. Полимерцементные композиции для наружной отделки пенобетонных стен / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С. 74–78.
2. Гусев, Н.И. Из опыта реставрации старых зданий / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 128–131.

3. Гусев, Н.И. Полы с высокими эксплуатационными качествами / Н.И. Гусев, К.С. Паршина, М.В. Кочеткова // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 64–68.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Гусев, Н.И. Исследование декоративных свойств поризованных растворов на атмосферные воздействия / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, Е.С. Аленкина // Современная техника и технологии. – 2014. – №12(40). – С. 115–118.
9. Гусев, Н.И. Задачи исследования защитных свойств полимерцементных поризованных растворов для стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, А.С. Щеглова // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №12(44). – С. 84–87.

#### References

1. Gusev, N.I. Polymer-modified compositions for exterior finish aerated concrete wall / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2. – P.74–78.
2. Gusev, N.I. From the experience of the restoration of old buildings / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №1. – P. 128–131.
3. Gusev, N.I. Floors with high performance / N.I. Gusev, K.S. Parshina, M.V. Kochetkova // Regional architecture and engineering. – 2014. – №1. – P. 64–68.
4. 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.
5. Gusev, N.I. Strength characteristics of polymer-matrix composites for the outer coating of the walls of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 36–40.
6. Gusev, N.I. Adhesion strength foampolimercement solution by 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.
7. Gusev, N.I. The research methodology of physical and mechanical properties foampolimercement solutions to protect the outer walls of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P.36–40.
8. Gusev, N.I. Investigation of decorative properties of porous solutions on weathering / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, E.S. Alenkina // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P.115–118.
9. Gusev, N.I. Objectives of the study of protective properties of porous polymer-solutions for the walls of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern scientific research and innovation. – 2014. – №12 (44). – P.84–87.

*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

**Щеглова Анна Сергеевна**,  
студентка

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

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

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

**Shcheglova Anna Sergeevna**,  
student

## ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТНОЙ ДИСПЕРСИИ И СИНТЕТИЧЕСКОГО ЛАТЕКСА

Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, А.С. Щеглова

Показано значение водопоглощения материала защитно-отделочного покрытия для пенобетонных наружных стен по показателю долговечности. Объяснены процессы водонасыщения и десорбции в зависимости от размеров пор в защитном покрытии.

*Ключевые слова: водопоглощение, структура пор и капилляров, динамика водопоглощения раствора с ПВАД и латексом, интенсивность водопоглощения, процесс десорбции*

## WATER ABSORPTION OF FOAMPOLIMERCEMENT SOLUTIONS BASED ON POLYVINYL ACETATE DISPERSIONS AND SYNTHETIC LATEX

N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova

The significance of water absorption of the material for protective finish coating of exterior foam concrete walls in terms of durability is shown. The processes of saturation and desorption depending on the size of the pores in the protective coating are explained.

*Keywords: water absorption, capillary pore structure and dynamics of water absorption of the solution with PVA dispersion and latex, the intensity of water absorption, desorption process*

Водопоглощение, влагопроницаемость (водопроницаемость) и паропроницаемость защитно-отделочного покрытия, в конечном счете, являются косвенными показателями его долговечности. Существенное влияние на эти факторы оказывают вводимые в состав цементного раствора полимеры. Решающее значение имеет образующая при формировании структуры бетона система пор и капилляров. Именно от их формы и размеров зависит способность капилляров поглощать, проводить воду и пропускать пар.

Пористый материал с капиллярами  $r > 1 \cdot 10^{-5}$  см не поглощает влагу из влажного воздуха и даже отдает ее в насыщенный водяным паром воздух. Замкнутые поры и мелкие капилляры не способствуют поглощению материалом влаги, в том числе и при непосредственном контакте. Вместе с тем даже очень мелкие и тонкие капилляры не

препятствуют прохождению парообразной воды через материал. Проникание ее в этом случае происходит за счет процессов испарения и конденсации.

Таким образом, пенополимерцементный раствор должен иметь замкнутые поры и мелкие капилляры, что будет способствовать уменьшению его влагопроницаемости при хорошей паропроницаемости. Выполненные исследования позволяют считать, что пенополимерцементный раствор имеет подобную структуру пор и капилляров.

При изучении водопоглощения цементных растворов с добавками ПВАД было обнаружено, что их водопоглощение при П:Ц=0,20 уменьшается более интенсивно (в 5–6 раз) лишь в начальный период, а потом возрастает и через 7–10 суток становится таким же, как и у растворов без ПВАД. Очевидно, такие расхождения в результатах являются следствием применения материалов различного качества. Водопоглощение каучукцементов в несколько раз ниже, чем для обычного раствора. Причем такое соотношение остается со временем неизменным. Это можно объяснить химической инертностью каучуков к воде.

Водопоглощение пенополимерцементных растворов определяли на образцах 5×5×5 см, высушенных до постоянного веса. В течение 8 часов образцы на подставках были залиты водой на 1/3 высоты, затем на 8 часов их погружали в воду на 2/3 высоты, после чего они были залиты водой полностью. Взвешивание производили через 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 36 часов и через 2, 3, 4, 5, 6 суток. Изменение весовой влажности в зависимости от времени водопоглощения представлено на графике (рис. 1).

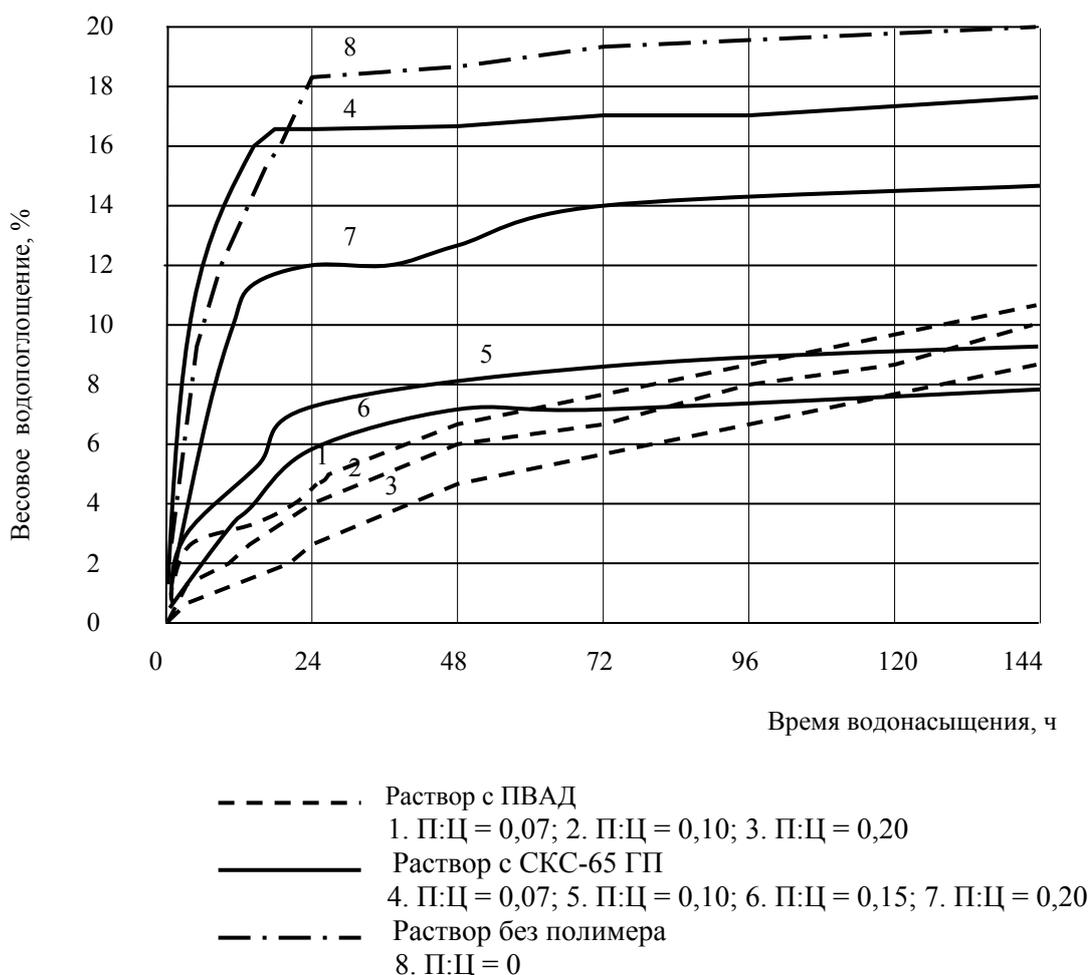


Рис. 1. Водопоглощение пенополимерцементных растворов

Полученные данные свидетельствуют о более низком водопоглощении растворов с ПВАД в начальный период насыщения. За первые 2 часа насыщения весовая влажность образцов с ПВАД достигла 1–2 %, а образцов с латексом – 2–8 %. Раствор без

добавки полимера за 2 часа насыщения поглотил 9 % воды. Через 6 суток влажность образцов с ПВАД достигла 8–10 %, а с латексом – 6–17 %, т.е. разрыв во влажности сократился с 4 до 2 раз и менее. Примечательно, что водопоглощение растворов с латексом в основном проходит за первые 12–20 часов, а затем стабилизируется.

Водопоглощение пенополимерцементных растворов, как правило, уменьшается с возрастанием П:Ц. У растворов с латексом минимальное водопоглощение наблюдается при содержании СКС-65ГП от 10 до 15 % (рис. 2).

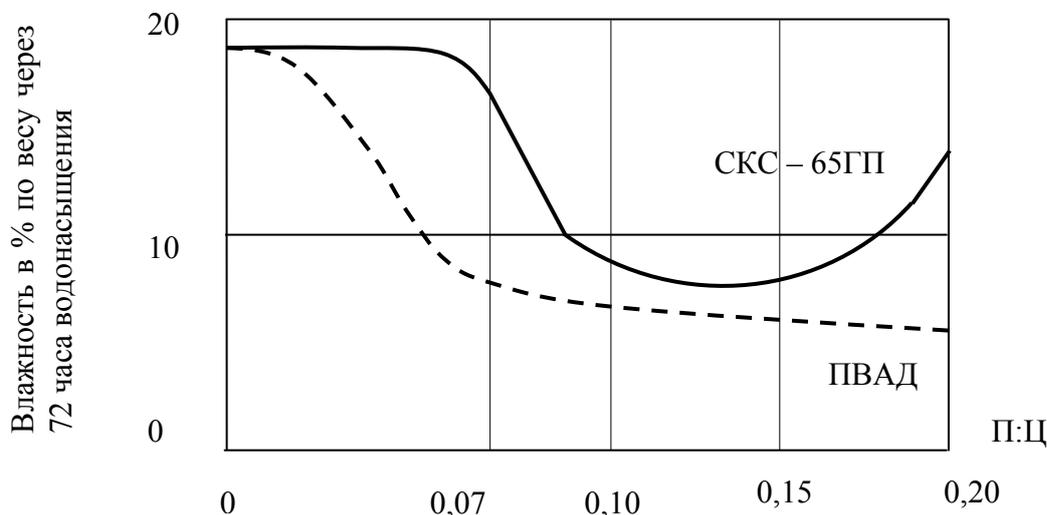


Рис. 2. Значение влажности пенополимерцементных растворов через 72 часа водонасыщения

Можно отметить, что коагуляция латекса существенного влияния на водопоглощение раствора не оказывает. Очевидно, глобулы полимера закрывают или уменьшают сечения капилляров до размеров их радиусов меньше  $10^{-5}$  см. Кроме того, разрыхленный полимер удерживает в капиллярах свободную воду, что также снижает водопоглощение. Повышающееся со временем водопоглощение поливинилацетатцемента происходит за счет вымывания полимера водой и ее дальнейшего, хотя и медленного, проникания в глубь материала.

Кроме описанной методики водонасыщения, водопоглощение пенополимерцементных растворов определяли путем капиллярного подсоса. 3 образца  $10 \times 10 \times 10$  см (1 образец от каждого состава) высушивали до постоянного веса и погружали в воду на глубину 3 см. Образцы укладывали на подставках, температура и влажность в помещении поддерживались постоянными. Через 1, 7, 24, 48 и 72 часа по всем 4 граням замерялась высота подъема влаги по капиллярам от уровня воды (рис. 3).

В отличие от насыщения при погружении в воду (рис. 1, 4) интенсивность капиллярного подсоса у поливинилацетатцементных образцов больше, чем у каучукцементных. Через 7 часов процесс водопоглощения выравнивается и происходит с равномерным нарастанием во времени. Причем растворы с ПВАД впитывают влагу так же интенсивно, как и растворы без полимера. Интенсивность увлажнения раствора с ПВАД примерно в 2 раза выше, чем у растворов с латексом, а конечная влажность через 72 часа водонасыщения выше почти в 3 раза.

Нами были проведены наблюдения над процессом десорбции влаги свежетоформованными образцами пенополимерцементных растворов. Процесс изменения влажности показан на рис. 4. Он характеризуется равномерным высыханием поливинилацетатцементных растворов. Растворы с латексом интенсивно теряют влагу сразу после распалубки образцов и уже через 6–7 дней достигают равновесной влажности.

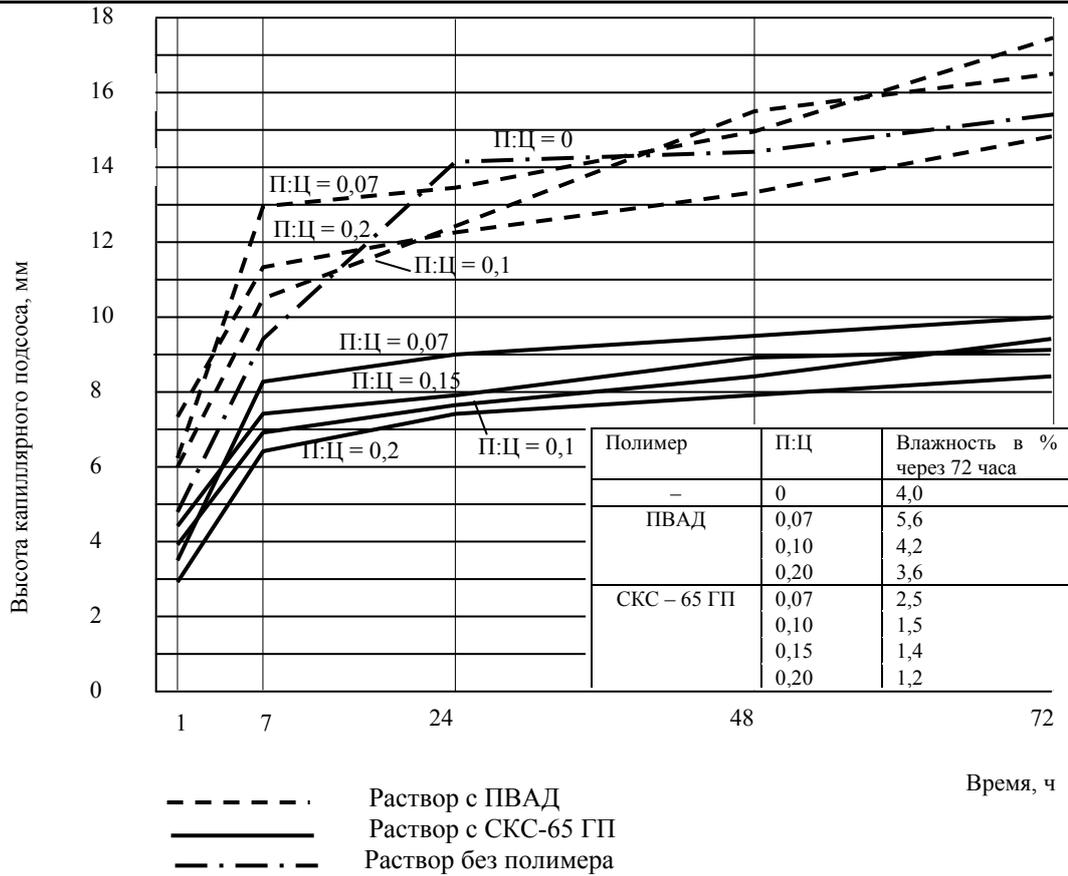


Рис. 3. Значения капиллярного увлажнения пенополимерцементных растворов

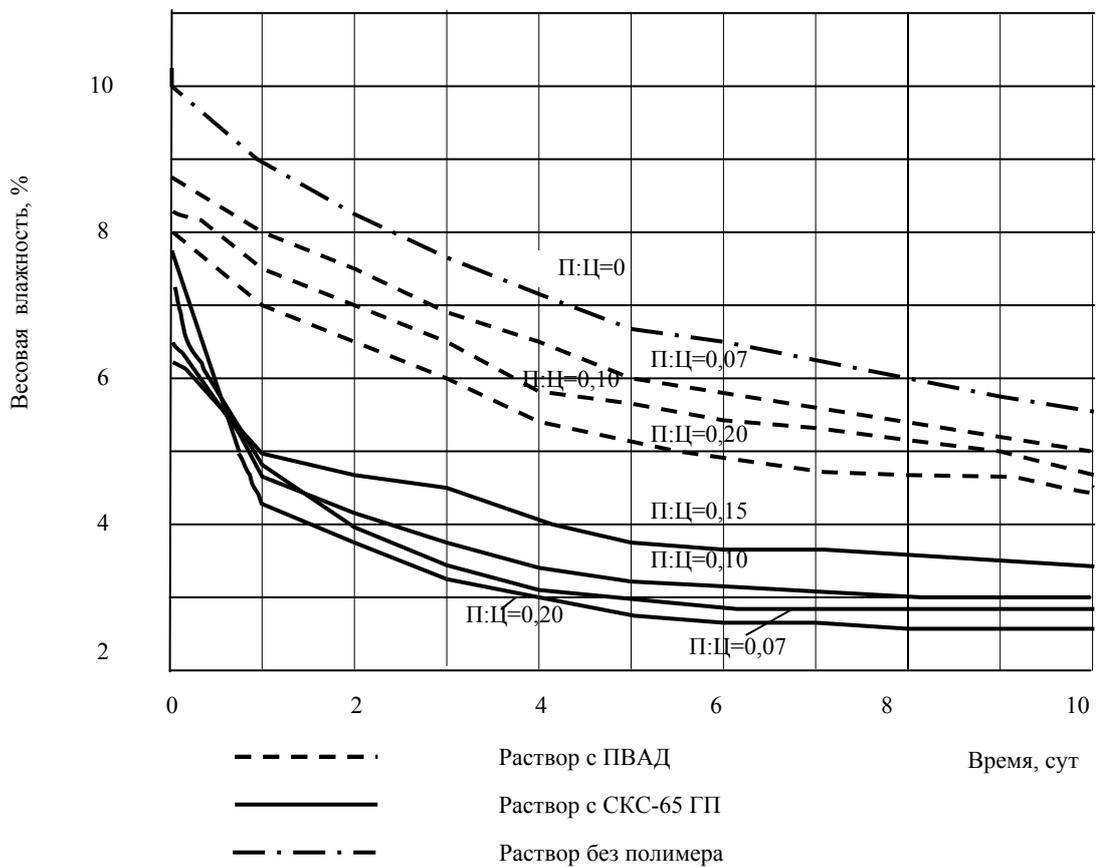


Рис. 4. Десорбция влаги пенополимерцементными растворами

Интенсивность высыхания пенополимерцементных растворов двух составов (температура +19 – +20°C, влажность 56–60 %) коррелируется с процессом водопоглощения (см. рис.1). Растворы с латексом имеют меньшее, чем у растворов с ПВАД, водотвердое отношение. Сразу после формования на их поверхности образуется пленка, препятствующая интенсивному испарению влаги. Поэтому в начальный момент в процессе образования этой пленки происходит интенсивная потеря влаги, а учитывая низкое В:Т и, следовательно, небольшую исходную влажность раствора, после быстрого уменьшения содержания влаги в первые сутки процесс десорбции практически заканчивается через 6–7 суток. Оставшаяся в растворе влага создает благоприятные условия для гидратации цемента.

#### Список литературы

1. Гусев, Н.И. Полимерцементные композиции для наружной отделки пенобетонных стен / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С. 74–78.
2. Гусев, Н.И. Из опыта реставрации старых зданий / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 128–131.
3. Гусев, Н.И. Полы с высокими эксплуатационными качествами / Н.И. Гусев, К.С. Паршина, М.В. Кочеткова // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 64–68.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Гусев, Н.И. Исследование декоративных свойств поризованных растворов на атмосферные воздействия / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, Е.С. Аленкина // Современная техника и технологии. – 2014. – №12(40). – С. 115–118.
9. Гусев, Н.И. Задачи исследования защитных свойств полимерцементных поризованных растворов для стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, А.С. Щеглова // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №12(44). – С. 84–87.

#### References

1. Gusev, N.I. Polymer-modified compositions for exterior finish aerated concrete wall / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2. – P. 74–78.
2. Gusev, N.I. From the experience of the restoration of old buildings / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №1. – P. 128–131.
3. Gusev, N.I. Floors with high performance / N.I. Gusev, K.S. Parshina, M.V. Kochetkova // Regional architecture and engineering. – 2014. – №1. – P. 64–68.
4. 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.

5. Gusev, N.I. Strength characteristics of polymer-matrix composites for the outer coating of the walls of the foam concrete/ N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 36–40.
6. Gusev, N.I. Adhesion strength foampolimercement solution by foam concrete exterior walls of heated buildings / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshin // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P.52–57.
7. Gusev, N.I. The research methodology of physical and mechanical properties foam-polimercement solutions to protect the outer walls made of foam concrete / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P.36–40.
8. Gusev, N.I. Investigation of decorative properties of porous solutions on weathering / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, E.S. Alenkina // Modern techniques and technologies. – 2014. – №12 (40). – P.115–118.
9. Gusev, N.I. Objectives of the study of protective properties of porous polymer-solutions for the walls made of foam concrete / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern scientific research and innovation. – 2014. – №12 (44). – P.84–87.

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

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

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

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

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

## СТЕНОВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ОПОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

В.А. Береговой

Разработаны составы и технология изготовления эффективных стеновых материалов из смешанных вяжущих, получаемых на основе опочного природного сырья. Исследованы свойства и показаны области рационального использования материала в строительстве.

*Ключевые слова: опочные породы, смешанные вяжущие, стеновые материалы, технология изготовления*

## WALL BUILDING MATERIALS WITH AGGRERATES FROM FLASK ROCKS

V.A. Beregovoi

The compositions and technology of production efficient effective wall building materials from mixed bindings on the basis of flask rock. The properties and field of rational application of these materials in construction are investigated.

*Keywords: flask rocks, mixed astringent, wall construction materials, fabrication technology*

**Введение.** Многие регионы европейской части страны, в том числе Пензенская область, располагают крупными месторождениями опалкристобалитовых кремнеземистых горных пород. Значительную часть из них занимают сосредоточения опок, не предоставляющие в настоящее время какой-либо ценности для промышленности. Такая ситуация объясняется отсутствием технически апробированных и экономически обоснованных решений по утилизации рассматриваемой группы природного сырья в производстве конкурентоспособной продукции: имеются лишь единичные примеры промышленного использования опок – для корректировки состава кирпичных глин; в качестве бутового камня при сооружении фундаментов малоэтажных деревянных строений; для производства щебня и термолитового гравия.

Вместе с тем опочные месторождения характеризуются достаточной мощностью пластов и выдержаны по химико-минералогическому составу. Опочное вещество обладает высокой гидравлической активностью и способно формировать прочный и водостойкий обжиговый искусственный конгломерат.

**Экспериментальная часть.** Перспективные направления использования опочного сырья в производстве строительных материалов можно изобразить в виде схемы, показанной на рис. 1.

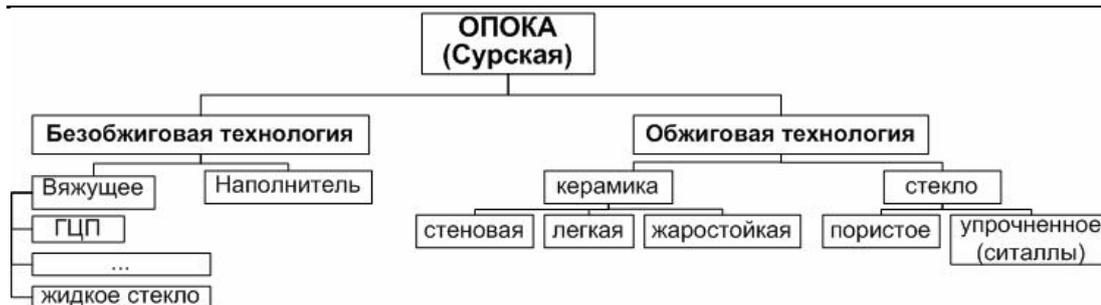


Рис. 1. Перспективные области применения опочного сырья

В статье приводятся результаты работы по оценке эффективности применения сурской опоки в производстве безобжиговых строительных материалов, вырабатываемых на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ). Содержание опочного компонента в составе трехкомпонентного вяжущего варьировалось от 25 до 40 %, а массовая доля строительного гипса (Г-5 АП) – 55...60 %.

На рис. 2 показаны кривые усадочных деформаций исследуемых растворов, твердевших в воздушно-сухих условиях.

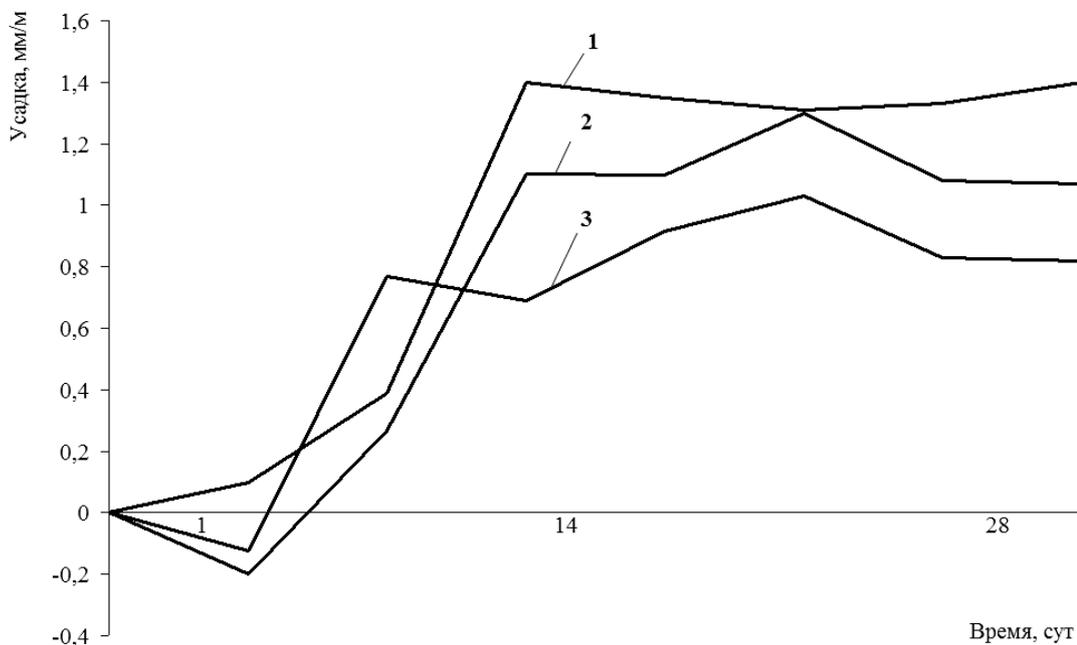


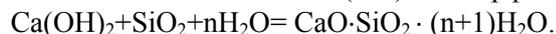
Рис. 2. Деформации усадки ГЦПВ при содержании цемента, % по массе: 1 – 20; 2 – 13; 3 – 10

Вид зависимостей на рис. 2 указывает на сложный характер собственных деформаций твердеющего материала, формирующихся в результате совместного протекания процессов структурообразования основных компонентов смешанного вяжущего.

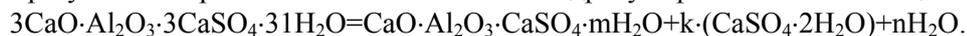
Быстрый набор прочности и деформации расширения материала, наблюдаемые на начальном этапе, связаны с твердением гипсовой составляющей.

На втором этапе происходит усадка материала, достигающая своего максимума на 14 сутки твердения. При этом ее величина прямо зависит от объемного содержания цементного компонента в составе ГЦПВ.

Роль опочного компонента заключается в снижении основности цементных новообразований вследствие взаимодействия  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и аморфного кремнезема



Данный процесс обеспечивает долговременную стабильность затвердевшего вяжущего в результате образования низкоосновного гидросульфаталюмината кальция



На рис. 3 представлена рентгенограмма образцов из растворов ГЦПВ, изготовленных с использованием кремнистой опоки. Съемка производилась на образцах в возрасте 6 месяцев.

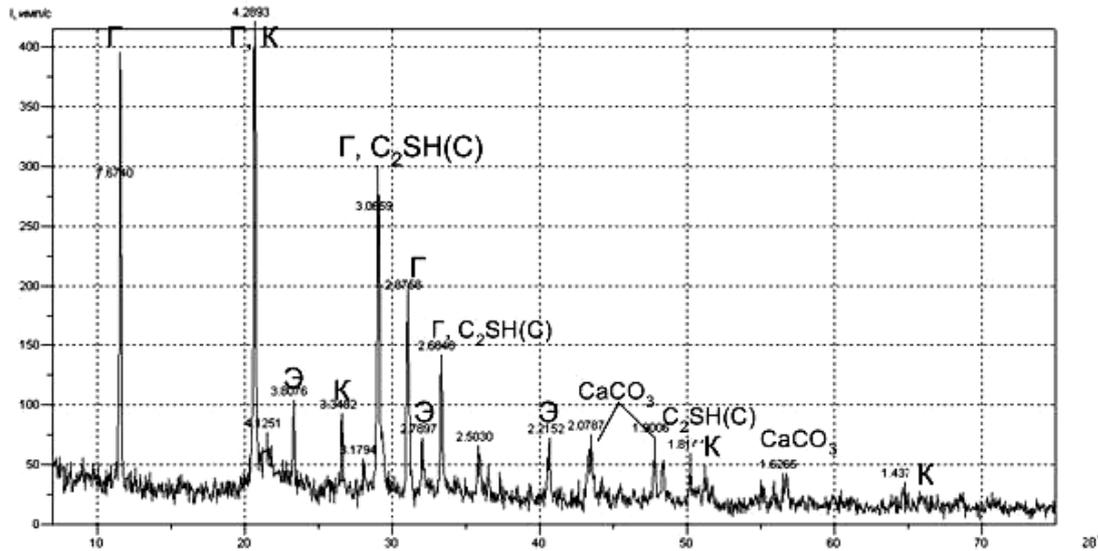


Рис. 3. Рентгенограмма ГЦПВ

Как видим, основными рентгеноидентифицируемыми минеральными фазами являются: гипсовый камень (Г); гидрат двухкальциевого силиката ( $C_2SH(C)$ ); этtringит (Э); кварц (К); кальцит ( $CaCO_3$ ).

Наличие в составе затвердевшего вяжущего указанных минеральных новообразований подтверждает приведенный выше механизм твердения ГЦПВ при использовании в его составе аморфного кремнезема на основе местных разновидностей опочного сырья.

Сравнивая полученные экспериментальные данные с показателями усадки цементного камня (3...5 мм/м), можно заключить, что в производстве мелкоштучных стеновых блоков и перегородочных плит исследуемое вяжущее можно применять без введения в состав инертных заполнителей. Тем не менее при изготовлении изделий для несущих и наружных конструкций с укрупненными размерами (более 500 мм) из ГЦП вяжущего высоких марок с содержанием цемента свыше 20 % в состав сырьевой смеси необходимо вводить микроармирующие волокна.

Показатели эффективности энергосбережения в зданиях во многом определяются величиной снижения теплопотерь через наружные ограждения [1]. С учетом полученного комплекса свойств наиболее эффективным применением смешанного вяжущего в изделиях являются стеновые материалы пазогребневой конструкции. На рис. 4 показаны основные параметры теплоэффективного 3-секционного стенового блока, формируемого из вяжущего марки М200. Пустоты блока заполняются теплоизоляционными вкладышами, вырезанными из минеральной плиты повышенной жесткости марки ППЖ 200.

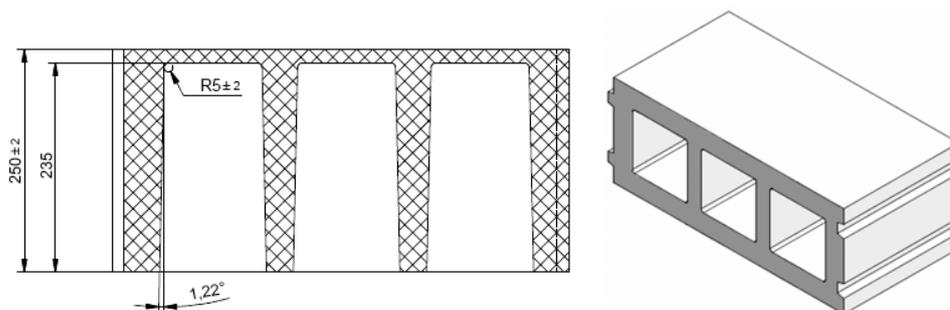


Рис. 4. Внешний вид и размеры стенового блока из ГЦП вяжущего

Альтернативный способ изготовления теплоэффективных поризованных блоков из ГЦПВ основан на принудительном вспенивании материала за счет введения пенообразователей [2]. В работе [3] рассмотрена технология получения таких изделий плотностью 700...850 кг/м<sup>3</sup>, предусматривающая вспучивание сырьевой смеси в разреженной среде.

Для выпуска изделий из ГЦП вяжущего и композиций на его основе была скомпонована технологическая линия производительностью 15 м<sup>3</sup> в смену. Принципиальная компоновочная схема этой линии показана на рис. 5.

Ее специфика определяется наличием участка подготовки природного опочного сырья, позволяющего производить операции высушивания, помола и активации природного наполнителя. Существенным преимуществом скомпонованной технологической линии является гибкость – т.е. возможность выпуска без значительной переналадки широкой гаммы изделий как на ГЦПВ, так и на традиционных гипсовых вяжущих (пустотных и полнотелых изделий в виде стеновых блоков или перегородных плит стандартных размеров 667×500×80 мм).

Работа технологической линии состоит в следующем. Из цементовозов гипс и пуццолановый цемент загружаются в мобильные горизонтальные силосы. Природное сырье подается автопогрузчиком в расходный бункер РБ-3000, входящий в состав оборудования подготовительного участка и выполняющий роль питателя сушильного барабана СГМ-2. После высушивания опочный материал самотеком транспортируется к месту загрузки помольного комплекса «Зенит – 8514». В состав комплекса входят мельницы среднего и тонкого помола, перерабатывающие за час работы до 3 тонн исходного щебня в наполнитель. Готовый опочный порошок пневмотранспортом перемещается в расходный бункер, откуда по мере необходимости шнеками подается в бункер-дозатор, снабженный тензометрическими датчиками.

Формование изделий включает в себя приготовление раствора литевой консистенции в ванне смешивания периодического действия и его заливку в кассету с подвижным дном. После взвешивания вода и сухие компоненты сырьевой смеси поочередно подаются в мешалку, снабженную двумя двухлопастными смесителями. При необходимости в раствор дополнительно вводится микроармирующее волокно (стеклянный ровинг).

Выталкивание изделий из ячеек кассеты осуществляется с помощью силового гидроцилиндра. Съемник-манипулятор с помощью специального захватного устройства снимает отформованные изделия, переносит и устанавливает их на тележку.

Тележки с отформованными плитами подаются в сушильную камеру периодического действия, где происходит их сушка газовоздушным сушильным агентом до конечной влажности 12 %.

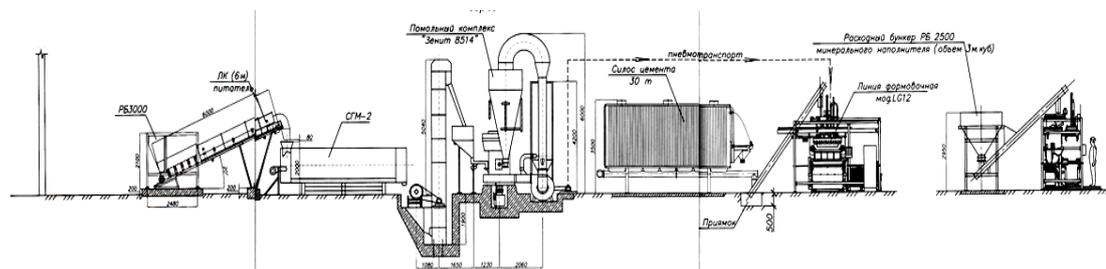


Рис. 5. Компоновочная схема технологической линии

Сравнительные показатели свойств изделий, формуемых на основе ГЦПВ, и традиционных гипсовых материалов показаны в таблице.

## Показатели свойств блоков

Наименование показателя	Основа		
	гипсовое вяжущее	составы ГЦПВ	
		№1	№2
Прочность на сжатие, МПа	5...6	19...21	6...8
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1300...1350	1500	1250
Коэффициент водостойкости	0,25...0,33	0,44...0,48	0,33..0,35
Усадка, мм/м	---	1,3...1,4	0,9...1,0
Стоимость вяжущего, руб/т	4500	3290	2970

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что использование ГЦПВ на основе сурской опоки вместо традиционного гипсового вяжущего позволяет достичь существенного улучшения основных технико-экономических показателей изделий.

**Заключение.** Таким образом, использование местного опочного сырья в производстве гипсоцементно-пуццолановых вяжущих, позволяет расширить сырьевую базу, снизить себестоимость и улучшить механические показатели стеновых изделий, формируемых по литьевой технологии. Не исключена возможность использования для производства таких материалов существующих зарубежных полуавтоматических технологических линий по производству гипсовых изделий, которые доукомплектуются серийно производимым отечественным оборудованием.

## Список литературы

1. Прошин, А.П. Ячеистый бетон для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и инженерных коммуникаций / А.П. Прошин, А.И. Еремкин, В.А. Береговой, Е.В. Королев, А.М. Береговой //Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 14–15.
2. Грушевский, А.Е. Поризованные блоки из ГЦПВ для малоэтажного строительства/ А.Е. Грушевский, В.П. Балдин, Е.В. Веселоватская, В.И. Синянский //Строительные материалы. – 1996. – № 5.– С. 12–13.

## References

1. Proshin, A.P. Cellular concrete for thermal insulation of buildings and engineering communications /A.P. Proshin, A.I. Eremkin, V.A. Beregovoy, E.V. Korolev, A.M. Beregovoy // Construction materials. – 2002. – No. 3. – P. 14–15.
2. Grushevsky, A.E. Porous blocks from mixed astringent for building constructions/ A.E.Grushevsky, V.P.Baldin, E.V.Veselovatskaya, V.I. Sinyansky//Construction materials. – 1996. – No. 5. – P.12–13.

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624.073

*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

**Хвастунов Виктор Леонтьевич,**

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Технологии строительных материалов и  
деревообработки»

E-mail: techbeton@pguas.ru

**Скачков Юрий Петрович,**

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Строительные конструкции»

**Хвастунов Алексей Викторович,**

кандидат технических наук

E-mail: alexey\_pnz@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

**Hvastunov Viktor Leontievich,**

Doctor of Sciences, Professor of the department  
«Technology of building materials and wood  
processing»

E-mail: techbeton@pguas.ru

**Skachkov Yuri Petrovich,**

Doctor of Sciences, Professor the department  
«Building Structures»

**Hvastunov Aleksei Viktorovich,**

Candidate of Sciences

E-mail: alexey\_pnz@mail.ru

### СВЯЗЬ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ И ФИБРОБЕТОНОВ С ПАРАМЕТРАМИ ПРОДАВЛИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

В.Л. Хвастунов, Ю.П. Скачков, А.В. Хвастунов

Приведены результаты исследований в области повышения эффективности работы железобетонных плит в монолитном каркасе с безбалочными перекрытиями. Содержатся экспериментальные данные по изучению влияния прочностных и деформационных свойств различных видов бетонов и фибробетонов, в том числе лёгких и высокопрочных с низким удельным расходом цемента на единицу прочности, на несущую способность плиты при продавливании.

*Ключевые слова: монолитный каркас, железобетон, тяжёлый бетон, лёгкий бетон, высокопрочный бетон, фибробетон, прочность, деформативность, продавливание*

# CONNECTION OF STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF CONCRETE AND FIBER REINFORCED CONCRETE WITH PARAMETERS OF REINFORCED CONCRETE SLABS PUNCHING

V.L. Khvastunov, Y.P. Skachkov, A.V. Khvastunov

The results of research the improving the efficiency of reinforced concrete slabs in a monolithic frame with beamless slabs are given. The authors provide experimental data on the effect of strength and deformation properties of different types of concrete and fiber-reinforced concrete, including light and high-strength concrete with low specific consumption of cement per unit of strength on the bearing capacity of the slab at punching.

*Keywords: solid frame, reinforced concrete, hard concrete, lightweight concrete, high strength concrete, fiber concrete, strength, deformability, punching*

Отечественная и зарубежная практика строительства показывает, что в настоящее время широкое распространение имеют монолитные железобетонные конструкции, позволяющие реализовывать более гибкие архитектурно-планировочные решения. Наиболее простыми в изготовлении и распространёнными являются монолитные железобетонные каркасы с плоскими безбалочными перекрытиями. Повышенный расход материалов на таких перекрытиях компенсируется простотой опалубки и быстротой их возведения, что немаловажно при строительстве многоэтажных зданий. В зависимости от величины перекрываемого пролёта и геометрических характеристик вертикальных несущих конструкций назначается толщина плиты перекрытия и конструируются узлы ее опирания на колонны либо пилоны несущего каркаса здания. Создание конструкций железобетонного каркаса с безбалочным перекрытием, обеспечивающим восприятие не только вертикальных, но и горизонтальных нагрузок, даёт возможность усовершенствовать современные традиционные методы конструирования каркасных зданий. Согласно проведённым исследованиям А.С. Залесова, К.Е. Ермуханова, Л.Я. Винера, Н.Н. Коровина, А.Д. Сергиевского и других при конструировании каркасов таких зданий большое внимание должно быть уделено изучению местного воздействия сосредоточенных вертикальных нагрузок в узлах сопряжения монолитного безбалочного перекрытия с колонной. В результатах выполненных работ А.Д. Сергиевского и Н.Н. Коровина было также отмечено, что при воздействии сконцентрированной нагрузки на железобетонные монолитные плиты необходимо рассматривать две формы разрушения: от действия поперечных сил по наклонному сечению по всей ширине плиты и по замкнутому наклонному сечению вокруг сосредоточенной нагрузки (разрушение от продавливания). В соответствии со СНиП 2.03.01–84 и СП 52-101–2003, СП 52-103–2007, СП 52-104-2006 [1, 2, 3] расчёт на продавливание плитных конструкций от действия сил, равномерно распределённых на ограниченной площади согласно рис. 1, производится из условия  $F < \alpha \cdot R_{bt} \cdot u_m \cdot h_0$ , где  $F$  – продавливающая сила;  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий вид бетона ( $\alpha=1$  для тяжёлого,  $\alpha=0,85$  для мелкозернистого,  $\alpha=0,80$  для лёгкого бетонов);  $R_{bt}$  – прочность бетона на растяжение;  $u_m$  – среднеарифметическое значение периметров верхнего и нижнего оснований пирамиды, образующейся при продавливании в пределах рабочей высоты сечения.

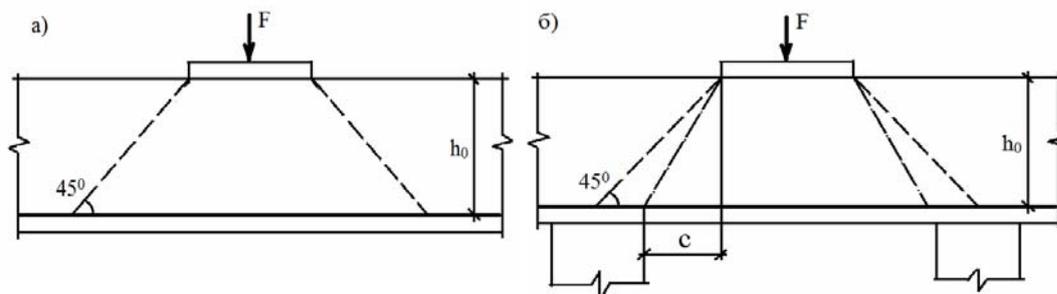


Рис. 1. Схемы для расчёта железобетонных плит на продавливание:

а – при наклоне боковых граней пирамиды продавливания под углом  $45^{\circ}$ ; б – то же более  $45^{\circ}$

При определении  $u_m$  и  $F$  предполагается, что продавливание происходит по боковой поверхности пирамиды с углом наклона граней к горизонтали  $45^\circ$  (рис. 1а). Если схема опирания такова, что продавливание происходит с углом наклона боковых граней более  $45^\circ$  (рис. 1б), то продавливающая сила  $F$  умножается на коэффициент  $h_0/c$ , где  $h_0$  – рабочая высота плиты, а  $c$  – длина горизонтальной проекции боковой грани пирамиды продавливания. При установке в пределах пирамиды продавливания хомутов, нормальных к плоскости плиты, расчёт  $F$  ведётся по формуле (108) (СНиП 2.03.01–84):  $F < F_b + 0,8F_{sw}$ , где  $F_b$  – усилие, воспринимаемое бетоном; а  $F_{sw}$  – усилие, воспринимаемое арматурой.

Исследование пространственного напряжённо-деформированного состояния плиты при продавливании показало, что угол  $\alpha$  зависит от степени стеснённости поперечных деформаций плиты. При нестеснённом контуре плиты, как правило,  $\alpha = 45^\circ$ . При стеснённых – угол  $\alpha$  уменьшается, а объём пирамиды продавливания увеличивается. По сведениям Л.Я. Винера и Е.В. Кошельникова, по мере увеличения насыщения плиты сетчатой арматурой в пределах пирамиды продавливания стеснённость деформаций привела к уменьшению угла  $\alpha$  и к увеличению периметра нижнего основания пирамиды продавливания. Экспериментальные данные показали, что величина несущей способности плит при продавливании может изменяться в довольно широких пределах в зависимости от степени насыщения сечения плиты сетчатой арматурой, даже в железобетонных плитах на пористых заполнителях.

Нормы различных стран, рекомендующие применять при расчётах продавливания приближённые методы, как правило, устанавливают допустимое напряжение в бетоне, возникающее на условной поверхности. При этом их величины заметно расходятся, что объясняется большим числом факторов, от которых зависят предельные напряжения в бетоне при продавливании плиты. Ермуханов К.Е. обобщил методы расчёта несущей способности плит при продавливании по нормам различных государств. Эти сведения систематизированы и приведены в табл. 1. Анализируя приведённые закономерности, можно сделать вывод о том, что несущая способность плит зависит в основном от периметра критического сечения, расчётной высоты плиты, сопротивления бетона на растяжение.

Эти предположения подтверждаются рядом исследований. Так, например, Н.Н. Коровин и А.В. Ступкин для увеличения несущей способности плит при продавливании предлагают повышать прочность бетона. Согласно исследованиям А.С. Залесова и других авторов, методика расчёта прочности плит с поперечной арматурой по СНиПу 2.01.03–84 значительно недооценивает прочность плит с поперечной арматурой, обладающих более высокими физико-механическими характеристиками, чем арматура класса А-I. В узлах стыка безбалочного перекрытия с колонной, где возникает максимальный изгибающий момент и поперечная сила, эффективно применение фибробетона, представляющего собой бетон, в котором в качестве арматуры используются стальные фибры, дисперсно и равномерно распределённые по объёму бетона. Совместная работа бетона, особенно высокопрочного, и стальных фибр обеспечивается надёжным сцеплением по их поверхности, анкерровкой фибры в бетоне за счёт её периодического профиля, кривизной в продольном и поперечном направлениях, а также наличием анкеров на концах фибр. В этом случае реализуются следующие технические преимущества фибробетона по сравнению с традиционным бетоном и железобетоном: повышенные трещиностойкость, ударная прочность, вязкость разрушения, износостойкость, морозостойкость, пониженные усадка и ползучесть, возможность использования более эффективных конструктивных решений, чем при традиционном стержневом армировании, повышение степени механизации и автоматизации производства конструкций.

Согласно нашим исследованиям, использование стальной и других видов фибры особенно эффективно в высокопрочных (M1000-M1500) порошково-активированных бетонах с низким удельным расходом цемента на единицу прочности [4, 5, 6, 7]. В таких бетонах вероятность вырывания волокон фибры из очень прочной матрицы резко уменьшается, что положительно сказывается на повышении прочности бетона

при растяжении, а следовательно, на возрастании сил продавливания в железобетонных плитах.

Таким образом, рациональное размещение арматуры, адекватное действию усилий, выбор вида бетона, оптимизация размеров колонн и толщины плит перекрытий, правильно выбранные схемы и формулы расчётов, подтверждение теоретических расчётов экспериментальными исследованиями и учёт многих других факторов позволяет обеспечить требуемую несущую способность плит перекрытий по схеме продавливания при минимальных расходах дорогостоящих материалов (арматурной стали, цемента, высокопрочных заполнителей, фибры, наполнителей, добавок в бетонные смеси и др.), а самое главное – обеспечить надёжность и безопасность строительных конструкций согласно закону РФ №384 ФЗ «Технический регламент по безопасности зданий и сооружений», а также стандартам (ГОСТ Р 54257-2010 «Надёжность строительных конструкций и оснований» и ГОСТ Р 53778-2010 «Обследование и мониторинг строительных конструкций»).

Для оценки эффективности применения различных видов бетона в узлах сопряжения диска плоского безбалочного перекрытия с колонной было изготовлено семь железобетонных плит размером 600×600×90 мм из различных видов бетона: 1) тяжелого класса В30, 2) легкого класса В25, 3) тяжелого дисперсно-армированного класса В35 (0,6 % армирования), 4) тяжелого дисперсно-армированного класса В35 (0,8 % армирования), 5) тяжелого дисперсно-армированного класса В35 (1,2 % армирования), 6) из высокопрочного бетона класса В100, 7) из высокопрочного фибробетона класса В110 (1,2 % армирования) для испытания их на продавливание.

Т а б л и ц а 1

Расчет несущей способности плиты на продавливание в различных странах [6]

№ п/п	Страна	Основные зависимости	Характеристика коэффициентов			
1	2	3	4			
1	Россия	СНиП 2.03.01-84	$R_{bh} = \alpha \cdot R_{bt}$		$\alpha = 1$ для тяжелого бетона $\alpha = 0,85$ для мелкозернистого бетона $\alpha = 0,80$ для легкого бетона	
		СП 52-101-2003	$F \leq F_{b,ult}$	$F_{b,ult} = R_{bt} A_b$	$A_b = u h_0$ ; $h_0 = 0,5 \times (h_{0x} + h_{0y})$	–
2	США	$R_{bh} = \alpha \cdot \alpha_{loc} \sqrt{R_{bc}}$	$\alpha = 0,14$	$\alpha_{loc} = 1 + \frac{2}{b_{loc} / a_{loc}}$	$\alpha_{loc}$ – коэффициент, зависящий от соотношения размеров площадок $R_{bc}$ – прочность бетона в цилиндрах	
3	Германия	$R_{bh} = \alpha \cdot \alpha_{\mu} \cdot \alpha_s \cdot R_{bt}$	$\alpha = 0,72$	$\alpha_{\mu} = \sqrt{100 \mu_s}$	$\alpha_s$ – коэффициент, зависящий от класса арматуры	
4	Великобритания	$R_{bh} = \alpha \cdot \alpha_{\mu} \cdot \alpha_h \cdot R$	$\alpha = 0,8$	$\alpha_{\mu} = \sqrt[3]{100 \mu_s}$	$\alpha_h = \sqrt[4]{400 / h_0}$	$R = 0,79$ МПа

1	2	3	4			
5	Швеция	$R_{bh} = \alpha \cdot \alpha_{\mu} \cdot \alpha_h \cdot R_{bt}$	$\alpha = 0,6$	$\alpha_h = 1,4$ при $h_0 \leq 20$ см; $\alpha_h = 1,6 - h_0 \geq 1$ при $20 \text{ см} \leq h_0 \leq 50 \text{ см}$	$\mu_s \leq 0,01$	–
6	Франция	$R_{bh} = \alpha \cdot R_{bc}$	$\alpha = 0,045$	–	–	–
7	Япония	$R_{bh} = \alpha \cdot \alpha_{loc} \times$ $\times (1 + \alpha_h + \alpha_{\mu}) \sqrt[3]{R_{bc}}$	$\alpha = 0,72$	$\alpha_{loc} = 2 \times$ $\times \left( 0,85 + 0,4 \frac{h_0}{d_m} \right);$ $d_m = 1,13 \times$ где $\times \sqrt{a_{loc} \times b_{loc}}$ ; $\alpha_h = 1 - 0,15h_0 \geq 0,6;$ $\alpha_{\mu} = \sqrt{100\mu_s} - 1 \geq 0,73$	$d_m$ – диаметр окружности, равной по площади квадрату или прямоугольнику со сторонами $a_{loc} \times b_{loc}$	–
8	ЕКБ – ФИП	$R_{bh} = \alpha \cdot \alpha_{\mu} \cdot \alpha_h \cdot R_{bt}$	$\alpha = 0,6$	$\alpha_h = 1,6 - h_0 \geq 1$	$\alpha_{\mu} = 1 + 50\mu_s;$ $\mu_s =$ $= \sqrt{\mu_{xx} \mu_{yy}} \leq 0,008$	–

Плиты армировались вязаной сеткой из арматуры периодического профиля Ø10 мм класса А-III. Для предотвращения продергивания стержни сетки имели отгибы вверх (рис.2б), что обеспечивало надежную анкеровку стержней сетки в теле плиты. Для определения прочностных и деформационных характеристик бетона дополнительно были изготовлены контрольные образцы из бетона того же состава, что и железобетонные плиты (рис.2а).

а



б



Рис. 2. Общий вид изготовленных бетонных и железобетонных и образцов (а) и арматурной сетки плиты (б)

Для бетонной смеси, из которой формировались образцы, в качестве вяжущего использовали вольский цемент М500Д0, кварцевый песок сурский речной, отсева дробления горных пород фракции 0-5 мм, молотый кварцевый песок и халцедон, тонкозернистый песок фракции 0,16-0,63 мм, высокопрочный щебень с маркой по дробимости 1000-1200 фракции 5-20 мм (в качестве заполнителя для тяжелого бетона) по ГОСТ 8267–93, керамзитовый гравий пачелмского завода Пензенской области фракции 5-20 мм с насыпной плотностью 620 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии в цилиндре 25-35 кг/см<sup>2</sup> (в качестве заполнителя для легкого бетона), пластифицирующую добавку С-3, Melflux 2651F, воду питьевую. В качестве армирующих волокон для приготовления фибробетона использовали стальную волнистую фибру Ø 0,3 мм и длиной 15 мм.

Для исследования прочностных и деформативных показателей вышеуказанных бетонов были отформованы призмы из бетонной смеси сечением – 100×100×400 мм, а для растяжения – в виде восьмерок 70×70×280 мм, с сечением в узкой части 50×70 мм,

для определения прочности бетона на сжатие – стандартные образцы-кубы с ребром 100 мм, которые через определенные промежутки времени подвергали испытанию на сжатие для определения скорости набора прочности бетона. Через 28 суток были испытаны образцы-восьмерки и призмы из различных видов бетонов.

Для испытания железобетонных плит на продавливание была разработана и изготовлена специальная установка [4, 6], представляющая собой замкнутую силовую раму из двух усиленных двутавров высотой 0,6 м и длиной 1 м, четырех стальных шпилек Ø50 мм с резьбой, опорной рамки под образец плиты. Плиты, опёртые по контуру через раствор, загружали гидравлическим домкратом грузоподъемностью 100 т через штамп с размером в плане 200×200 мм и толщиной 40 мм. Определённая расчётная разрушающая нагрузка на плиты от продавливания штампом и полученная в результате испытаний по схеме (рис. 3) фактическая разрушающая нагрузка на плиты, прочностные и деформационные свойства исходных бетонов и фибробетонов приведены в табл. 2 и 3. Определение прочности и деформативности на растяжение различных видов бетонов осуществляли на гидравлическом прессе УММ-50 (рис. 4).

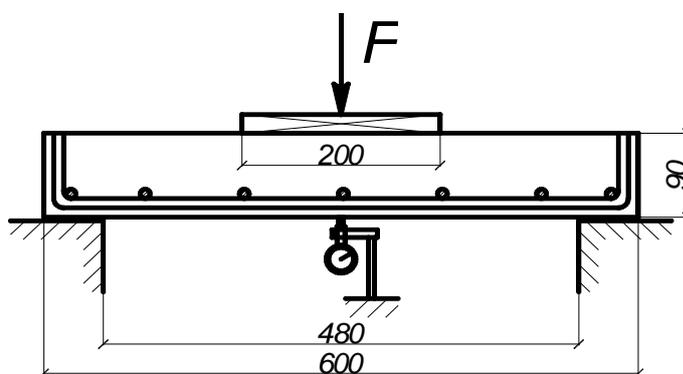


Рис. 3. Схема испытания железобетонных плит на продавливание



Рис. 4. Общий вид испытания образцов-«восьмерок» на центральное растяжение с помощью гидравлического пресса УММ-50

Результаты испытаний железобетонных плит на продавливание в зависимости от вида и свойств бетонов (приведены также расчетные усилия продавливания,  $F^{расч}$ , кН)

№ п/п	Вид бетона	$u_m$ , м	$h_0$ , м	$R_b$ , МПа	$R_{bt}$ , МПа	$F^{расч}$ , кН	$F^{факт}$ , кН
1	Керамзитобетон	1,1	0,075	33,00	1,60	105,6	240,0
2	Тяжелый бетон			43,00	2,70	223,9	270,0
3	Тяжелый дисперсно-армированный (0,6 % армирования)			48,75	3,14	259,0	300,0
4	Тяжелый дисперсно-армированный (0,8 % армирования)			54,92	3,60	297,0	345,0
5	Тяжелый дисперсно-армированный (1,2 % армирования)			61,25	4,26	350,6	370,0
6	Высокопрочный бетон			114,80	4,60	379,5	360,0
7	Высокопрочный дисперсно-армированный (1,2 % армирования)			125,10	6,30	519,7	550,0

Т а б л и ц а 3

Характеристики составов, прочностных и деформационных свойств бетонов в железобетонных плитах, испытанных на продавливание

№ п/п	Характеристика бетона	$\rho_{ц, ст}$ , кг/МПа	Содержание стальной фибры, об. %	Кубиковая прочность на 28 сут, МПа	Призмная прочность на 28 сут, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Предельные продольные деформации при сжатии $\epsilon_1$ , мм/м	Предельные поперечные деформации при сжатии $\epsilon_2$ , мм/м	Модуль упругости при $0,3R_{пр}$ , МПа	Продавливающая сила, т	Коэффициент Пуассона при $0,3R_{пр}$	Граница трещинообразования $\sigma/R_{пр}$
1	Тяжелый бетон класс В30	9,30	0	43,0	36,0	2,7	2,34	0,71	41200	27,0	0,18	0,75
2	Керамзитобетон класс В25	12,30	0	32,6	28,0	1,6	3,72	1,11	20890	24,0	0,16	0,89
3	Сталефибробетон класс В35	8,21	0,6	48,7	32,2	3,14	2,64	0,78	39462	30,0	0,19	0,83
4	Сталефибробетон класс В40	7,29	0,8	54,9	40,0	3,6	3,00	0,88	38800	34,5	0,24	0,87
5	Сталефибробетон класс В45	6,54	1,2	61,0	42,7	4,26	3,12	0,93	37800	36,8	0,27	0,93
6	Высокопрочный тяжелый бетон класс В100	3,48	0	127,6	114,8	4,6	2,68	0,68	58824	36,0	0,21	0,89
7	Высокопрочный сталефибробетон класс В110	3,20	1,2	139,0	125,1	6,3	2,95	0,57	57851	55,0	0,22	0,97

Результаты экспериментов показали, что добавление фибры в количестве 1,2 % по объему увеличивает несущую способность плит из тяжелых бетонов старого поколения М400-М600 при продавливании на 37 % и плит из разработанных порошково-активированных щебеночных бетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности – на 53 %. При одном и том же расходе цемента (400 кг/м<sup>3</sup>) несущая способность плит при продавливании увеличилась в 2 раза, что свидетельствует также о целесообразности использования высокопрочных бетонов в монолитных плитах перекрытия при опирании на отдельно стоящие колонны. В экспериментах выявлена положительная и эффективная роль керамзитобетона М300-М350 при его использовании в таких узлах. Между прочностью бетонов различных видов на осевое растяжение и продавливающей силой плитных конструкций существует практически линейная зависимость  $F_{пр} = f(R_{bt})$ .

#### Список литературы

1. СП 52-101–2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: НИИЖБ, 2004.
2. СП 52-103–2007. Железобетонные монолитные конструкции зданий. – М.: НИИЖБ, 2007.
3. СП 52-104–2006. Сталефибробетонные конструкции. – М.: НИИЖБ, 2007.
4. Хвастунов, А.В. Повышение эксплуатационных свойств бетонных плит различного назначения / А.В. Хвастунов // Строительные материалы. – 2008. – №10. – С.17–19.
5. Калашников, В.И. Физико-механические и гигрометрические свойства порошково-активированных высокопрочных щебеночных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности. / В.И. Калашников, А.В. Хвастунов, В.Л. Хвастунов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №5. – С.161–164.
6. Хвастунов, А.В. Порошково-активированный высокопрочный бетон и фибробетон с низким удельным расходом цемента на единицу прочности: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Хвастунов // – Пенза, 2011. – 178 с.
7. Хвастунов, В.Л. Прочностные и деформационные характеристики высокопрочных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.Л. Хвастунов, А.В. Хвастунов, В.В. Пауск // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С.15–24.

#### References

1. SP 52-101–2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement. – M: NIIZhB., 2004.
2. SP 52-103–2007. reinforced concrete monolithic structures of buildings. – M: NIIZhB, 2007.
3. SP 52-104–2006. Steel fiber-concrete design. – M: NIIZhB, 2007.
4. Khvastunov, A.V. Improving the performance properties of concrete slabs for different purposes / A.V. Khvastunov // Building materials. – 2008. – №10. – P.17–19.
5. Kalashnikov, V.I. Physical and mechanical properties and hygrometric powder-activated high-fiber-reinforced concrete and crushed stone concrete with low specific consumption of cement per unit of strength / V.I. Kalashnikov, A.V. Khvastunov, V.L. Khvastunov // Scientific and Technical Gazette Volga. – 2011. – №5. – P.161–164.
6. Khvastunov, A.V. Powder-activated high-strength concrete and fiber concrete with low specific consumption of cement per unit strength: thesis for the degree of candidate of technical sciences / A.V. Khvastunov. – Penza, 2011. – 178 p.
7. Khvastunov, V.L. Strength and deformation characteristics of high-strength concrete and fiber-reinforced concrete with a low specific cement consumption per unit of strength / V.L. Khvastunov, A.V. Khvastunov, V.V. Pausk // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P.15–24.

*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

**Снежкина Ольга Викторовна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Математика и математическое  
моделирование»

**Скачков Юрий Петрович**,  
доктор технических наук, ректор, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»

**Ладин Роман Акбарович**,  
аспирант

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

**Snezhkina Olga Viktorovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Mathematics and  
mathematical modeling»

**Skachkov Yuri Petrovich**,  
Doctor of Sciences, Rector, Professor of the  
department «Building construction»

**Ladin Roman Akbarovich**,  
Postgraduate

## ОЦЕНКА КАРКАСНО-СТЕРЖНЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КОРОТКИХ БАЛОК

О.В. Снежкина, Ю.П. Скачков, Р.А. Ладин

На основе экспериментальных данных приводится оценка разработанных каркасно-стержневых моделей для определения усилий трещинообразования в коротких железобетонных балках при изменении пролета среза от 0,25 до 1,5.

*Ключевые слова:* железобетонные балки, каркасно-стержневая модель, усилия трещинообразования

## EVALUATION OF FRAME-ROD MODELS TO DETERMINE THE FRACTURE TOUGHNESS OF SHORT BEAMS

O.V. Snezhkina, Y.P. Skachkov, R.A. Ladin

According to experimental data evaluation of developed frame-core models is performed to determine the cracking effort in short reinforced concrete where span was changed from 0,25 to 1,5.

*Keywords:* reinforced concrete beams, frame-rod model, the effort of cracking

Рассматривалось развитие расчетной каркасно-стержневой модели (КСМ) для определения прочности коротких железобетонных балок с пролетом среза  $a/h_0 \leq 1,5$  до модели, позволяющей определять трещиностойкость указанных конструкций. Поставленную задачу удалось свести к определению растягивающих усилий, действующих по длине сжатой наклонной бетонной полосы в поперечном направлении, а также к определению растягивающих усилий, действующих вдоль растянутого арматурного пояса. Имеется в виду определение тех растягивающих усилий, при которых в бетоне образуются наклонные – граничные и вертикальные трещины [1, 2]. Такая постановка задачи позволяет однозначно определять растягивающие усилия в горизонтальном растянутом элементе по существующей расчетной модели КСМ (характер образования трещин в растянутой зоне является однозначным; в растянутом горизонтальном поясе бетона появляются трещины, имеющие вертикальную траекторию) [3, 4]. Определение растягивающих поперечных усилий, действующих вдоль сжатого наклонного стержня каркасно-стержневой модели, является проблематичным.

Для решения этой проблемы путем моделирования физической работы коротких железобетонных балок при действии поперечных сил разработан ряд каркасно-стержневых моделей, позволяющих определять величину растягивающего поперечного усилия внутри сжатой наклонной бетонной полосы. Принцип построения расчетных моделей сводился к замене расчетной наклонной сжатой полосы бетона стержневой фермой (в отличие от расчетной модели на прочность). При этом расчетный растянутый стержень общей модели принимался подобным модели КСМ. Для выбора и обоснования окончательного решения анализировались три варианта построения стержневой расчетной модели (рис. 1, 2, 3). Методологические основы анализа и синтеза сложных многокритериальных систем достаточно полно указаны в [5, 6, 7].

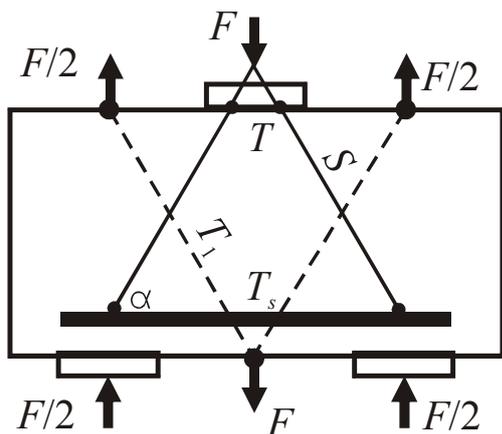


Рис. 1. Схема построения каркасно-стержневой модели №1 при определении трещиностойкости балок

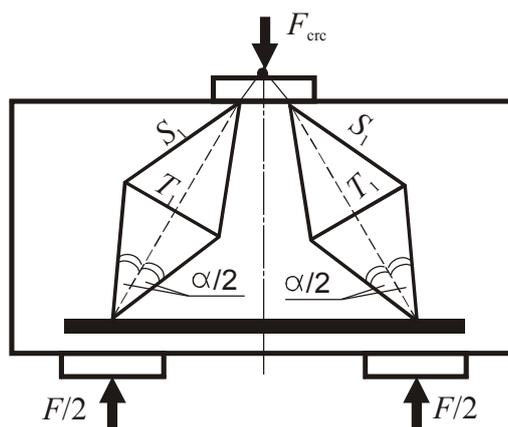


Рис. 2. Схема построения каркасно-стержневой модели №2 при определении трещиностойкости балок

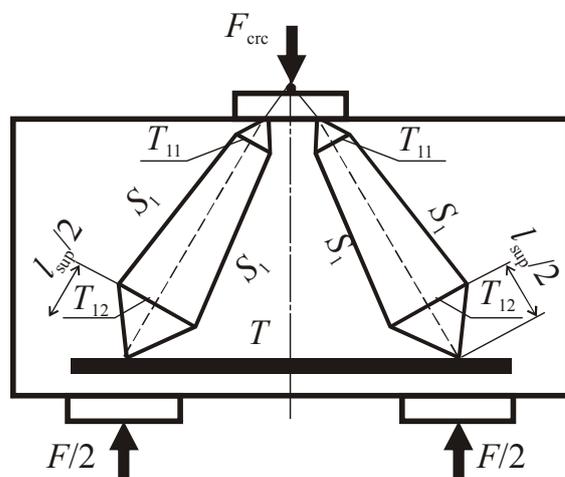


Рис. 3. Схема построения каркасно-стержневой модели №3 при определении трещиностойкости балок

В качестве первого варианта рассматривался простой, наиболее идеализированный подход к построению модели. В этом случае расчетная модель определения усилия трещиностойкости является зеркальным отображением модели КСМ, принятой при расчете прочности. Усилия в стержнях зеркальной модели поменяли свой знак на противоположный, по сравнению с моделью КСМ. Наклонные стержни рассматриваемой модели являются растянутыми, горизонтальный стержень – сжатым (см. рис. 1).

В качестве второго варианта (см. рис. 2) рассматривалась стержневая модель, в которой сжатые зоны бетона, расположенные между грузовой и опорными площадками, представлены в виде фермы с усилиями  $S_1$  (сжатие) и стержнем-распоркой с усилием  $T_1$  (растяжение).

В качестве третьего варианта рассматривалась модель, аналогичная в построении второму варианту, но отличающаяся наличием двух поперечных растянутых элементов  $T_1$ , расположенных вблизи грузовой и опорных площадок (см. рис. 3). Характерным для второго и третьего вариантов является то, что угол между наклонными поясами ферм наклонного очертания принимался равным углу наклона сжатого подкоса модели КСМ.

Поскольку целью создания расчетных моделей является определение растягивающих поперечных усилий в сжатых полосах бетона, в качестве основы для сопоставления каждого из предлагаемых вариантов выступает согласованность закономерности изменения расчетных значений растягивающих усилий  $T_1$  с опытными данными при изменении пролета среза.

На рис. 4 показаны графики изменения расчетных зависимостей, определяющих величину поперечных растягивающих усилий  $T_1$ . В вариантах 2 и 3 растягивающие усилия  $T_1$  имеют одинаковую закономерность изменения при увеличении пролета среза  $a/h_0$  и очень близки друг к другу по величине. Сопоставляя графики зависимости изменения расчетных растягивающих усилий  $T_1$  моделей 1, 2 и 3, следует отметить, что график соответствующей зависимости первого варианта отличается от вариантов 2, 3 как по закономерности, так и по абсолютной величине (см. рис. 4). Расчетная зависимость первого варианта дает более высокие значения усилия  $T_1$ .

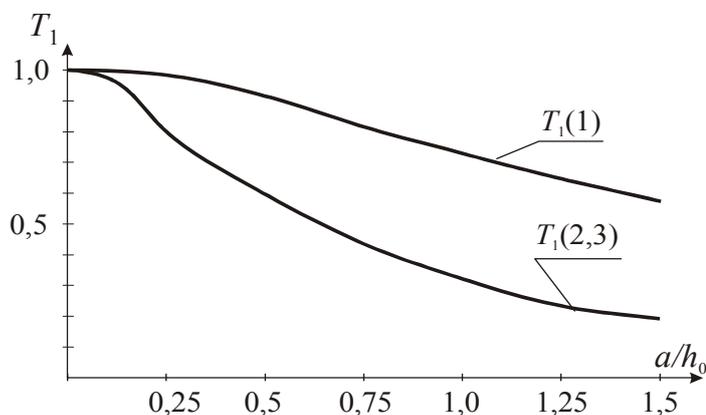


Рис. 4. График изменения внутренних растягивающих усилий образования наклонных трещин при изменении пролета среза

На основе сопоставления расчетных растягивающих усилий с опытными данными в качестве основной расчетной модели принята модель варианта 2.

Усилие образования граничных наклонных трещин в соответствии с принятой моделью 2 определяется по расчетной зависимости

$$T_1 = 0,5 F_{срс} \operatorname{tg}(\alpha/2) / \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $F_{срс}$  – внешняя сила, при которой образуются наклонные граничные трещины;  $T_1$  – растягивающее поперечное усилие в наклонном элементе модели;  $\alpha$  – угол наклона сжатой полосы бетона, определяется согласно каркасно-стержневой модели.

Усилие образования вертикальной трещины вычисляется по зависимости

$$T = 0,5 F_{s,срс} / \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где  $F_{s,срс}$  – внешняя сила, при которой образуются вертикальные трещины;  $T$  – продольное растягивающее усилие в горизонтальном поясе расчетной модели.

#### Выводы

- На основе экспериментальных данных впервые произведено развитие расчетной каркасно-стержневой модели по определению прочности коротких балок до модели, позволяющей определять трещиностойкость коротких балок с пролетом среза  $a/h_0 \leq 1,5$ .
- На основе сопоставления расчетных растягивающих усилий с опытными данными в качестве расчетной принята стержневая модель со стержнем-распоркой с усилием  $T_1$ .

- Величины усилий образования граничных наклонных и вертикальных трещин согласуются с результатами экспериментальных данных при изменении  $a/h_0$  от 0,25 до 1,5.
- Предложенный метод расчета трещиностойкости коротких железобетонных балок облегчает проектирование, обеспечивает экономию материалов бетона и арматуры за счет рационального использования материалов, а также за счет повышения расчетных величин трещиностойкости.
- Практическое значение метода расчета трещиностойкости коротких железобетонных балок на основе КСМ заключается в повышении надежности конструкций.

#### Список литературы

1. Баранова, Т.И. Моделирование работы коротких железобетонных балок / Т.И. Баранова, Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, Р.А. Ладин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – № 2 (36). – С. 54–60.
2. Скачков, Ю.П. Определение схем разрушения и трещинообразования коротких железобетонных балок по экспериментальным данным / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 74–81.
3. Снежкина, О.В. Расчет прочности железобетонных балок со средним пролетом среза / О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 118–122.
4. Снежкина, О.В. Короткие балки. Моделирование физической работы: монография / О.В. Снежкина, А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 124 с.
5. Скачков, Ю.П. Модификация метода Паттерн к решению архитектурно-строительных задач / Ю.П. Скачков, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 1. – С. 4–9.
6. Гарькина, И.А. Управление в сложных технических системах: методологические принципы управления / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1(12). – С.39–43.
7. Будылина, Е.А. Основные принципы проектирования сложных технических систем в приложениях / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.С. Махонин // Молодой ученый. – 2013. – № 5. – С. 42–45.

#### References

1. Baranova, T.I. Modeling work of short reinforced concrete beams / T.I. Baranova, Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Journal of Siberian Russian state automobile and road Academy. – 2014. – No. 2 (36). – P. 54–60.
2. Skachkov, Y.P. Definition of schemes and destruction cracking short concrete beams experimental data / Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova, A.V. Kornyuhin // Regional architecture and engineering. – 2013. – No 3. – P. 74–81.
3. Snezhkina, O.V. Calculation of the strength of reinforced concrete beams with an average span of the slice / O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova, A.V. Kornuhin, R.A. Ladin // Regional architecture and engineering. – 2014. – No. 1. – P. 118–122.
4. Snezhkina, O.V. Short beams. Modelling of physical work: monography / O.V. Snezhkina, A.V. Kornyuhin, M.V. Kochetkova. – Penza: PGUAS, 2011. – 124 p.
5. Skachkov, Y.P. Modification of the method of Pattern to the solution of architectural problems / Y.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garcia // Regional architecture and engineering. – 2011. – No. 1. – P. 4–9.
6. Garkina, I.A. Management in complex technical systems: methodological principles of management / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2012. – №1(12). – P.39–43.
7. Budylna, E.A. Basic principles of design of complex technical systems in applications / E.A. Budylna, I.A. Garcia, A. M. Danilov, A.S. Makhonin // Young scientist. – 2013. – No. 5. – P. 42–45.

*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

**Бакушев Сергей Васильевич,**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Механика»  
E-mail: tim-graf\_penza@rambler.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

**Bakushev Sergey Vasilevich,**  
Doktor of Sciences,  
Professor of the Department «Mechanic»  
E-mail: tim-graf\_penza@rambler.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ТОНКОМ СТЕРЖНЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОБСТВЕННОГО ВЕСА С УЧЁТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ-НЕЛИНЕЙНЫХ СООТНОШЕНИЙ

С.В. Бакушев

Определены нелинейно-упругие перемещения в тонком призматическом стержне, находящемся под действием собственного веса. Деформации стержня описаны геометрически-нелинейными соотношениями. Формулы для перемещений получены для коэффициента перехода от истинных напряжений к обобщённым напряжениям, равного единице (в первом приближении). Выполнено сравнение результатов численного расчёта перемещений для упругого геометрически-линейного и упругого геометрически-нелинейного стержней.

*Ключевые слова: тонкий стержень, геометрическая нелинейность, перемещения*

## DETERMINATION OF DISPLACEMENT IN THIN ROD UNDER THE ACTION OF OWN WEIGHT TAKING INTO ACCOUNT GEOMETRICALLY NON-LINEAR RELATIONS

S.V. Bakushev

Non-linear elastic displacements in thin prism rod under the action of its own weight are defined. Rod deformations are described by geometrically non-linear correlations. Taking as the first approximation the coefficient of transition from real stresses to general stresses which are equal to 1, the formulae of displacement are got. The author compares the results of digital calculation of displacement for elastic geometrically linear and elastic non-linear rods.

*Keywords: thin rod, geometrical nonlinearity, displacements*

Задача определения перемещений в деформируемом твёрдом теле является достаточно трудоёмкой и нетривиальной. Общий подход состоит в том, что интегрируются уравнения первой группы соотношений Коши, а постоянные интегрирования – произвольные функции двух пространственных координат – определяются из уравнений второй группы соотношений Коши. Классическим примером является задача определения упругих перемещений в тонком стержне, находящемся под действием собственного веса [1].

Рассмотрим задачу определения нелинейно-упругих перемещений в тонком призматическом стержне длиной  $l$  с прямоугольным поперечным сечением размерами  $x_0 \times y_0$  (рис. 1), находящемся под действием собственного веса ( $\gamma$  – вес единицы объёма). Пусть деформации и перемещения в стержне связаны между собой нелинейными соотношениями [2]:

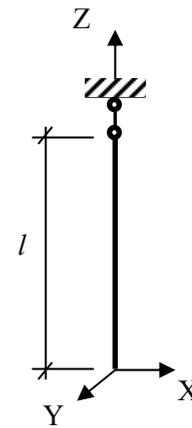


Рис. 1

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= e_{xx} + \frac{1}{2} \left[ e_{xx}^2 + \left( \frac{1}{2} e_{xy} + \omega_z \right)^2 + \left( \frac{1}{2} e_{xz} + \omega_y \right)^2 \right]; \\ \varepsilon_{yy} &= e_{yy} + \frac{1}{2} \left[ e_{yy}^2 + \left( \frac{1}{2} e_{xy} - \omega_z \right)^2 + \left( \frac{1}{2} e_{yz} + \omega_x \right)^2 \right]; \\ \varepsilon_{zz} &= e_{zz} + \frac{1}{2} \left[ e_{zz}^2 + \left( \frac{1}{2} e_{xz} + \omega_y \right)^2 + \left( \frac{1}{2} e_{yz} - \omega_x \right)^2 \right]; \\ \varepsilon_{xy} &= e_{xy} + e_{xx} \left( \frac{1}{2} e_{xy} - \omega_z \right) + e_{yy} \left( \frac{1}{2} e_{xy} + \omega_z \right) + \left( \frac{1}{2} e_{xz} - \omega_y \right) \left( \frac{1}{2} e_{yz} + \omega_x \right); \\ \varepsilon_{yz} &= e_{yz} + e_{yy} \left( \frac{1}{2} e_{yz} - \omega_x \right) + e_{zz} \left( \frac{1}{2} e_{yz} + \omega_x \right) + \left( \frac{1}{2} e_{xy} - \omega_z \right) \left( \frac{1}{2} e_{xz} + \omega_y \right); \\ \varepsilon_{zx} &= e_{zx} + e_{xx} \left( \frac{1}{2} e_{zx} + \omega_y \right) + e_{zz} \left( \frac{1}{2} e_{zx} - \omega_y \right) + \left( \frac{1}{2} e_{xy} + \omega_z \right) \left( \frac{1}{2} e_{yz} - \omega_x \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь введены обозначения:

$$\begin{aligned} e_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x}, \quad e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}, \\ e_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \quad e_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}, \quad e_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}, \\ \omega_x &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right), \quad \omega_y = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right), \quad \omega_z = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Геометрический смысл параметров  $e_{xx}$ ,  $e_{yy}$ ,  $e_{zz}$  состоит в том, что величины  $e_{xx}$ ,  $e_{yy}$ ,  $e_{zz}$  – это относительные удлинения проекций на оси декартовой системы координат  $X, Y, Z$  линейных элементов, направление которых до деформации было параллельно соответствующим осям. В.В.Новожилов [2] указывает, что параметры  $e_{xy}$ ,  $e_{yz}$ ,  $e_{zx}$  наглядного геометрического смысла, по-видимому, не имеют. Однако при переходе к линейным соотношениям величины  $e_{xy}$ ,  $e_{yz}$ ,  $e_{zx}$  характеризуют изменение прямых углов между линейными элементами в плоскости координатных граней  $X, Y, Z$ . Что касается параметров  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$ , то они характеризуют поворот

вокруг осей декартовой системы координат  $X, Y, Z$  линейных элементов тела, перпендикулярных до деформации этим осям.

Учитывая характер действующей на стержень нагрузки, величины  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  можно положить равными нулю, то есть на основании третьей группы соотношений (2) получаем зависимости:

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial z}, \quad \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (3)$$

Поскольку рассматриваются тонкий стержень и малые, вообще говоря, деформации, то квадратами величин  $e_{xy}, e_{yz}, e_{zx}$  также пренебрегаем ввиду их малости, учитывая характер действующей нагрузки.

С учётом соотношений (2) формулы (1) получают вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2; & \varepsilon_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2; & \varepsilon_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2; \\ \varepsilon_{xy} &= \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{1}{4} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right); \\ \varepsilon_{yz} &= \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] + \frac{1}{4} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right); \\ \varepsilon_{zx} &= \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] + \frac{1}{4} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Физические уравнения, связывающие нелинейные деформации и обобщённые напряжения, согласно [2], представляются в следующем виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{1}{2G^*} \left( \sigma_{xx}^* - \frac{1}{3} \sigma^* \right) + \frac{\sigma^*}{9K^*}; & \varepsilon_{xy} &= \frac{1}{G^*} \sigma_{xy}^*; \\ \varepsilon_{yy} &= \frac{1}{2G^*} \left( \sigma_{yy}^* - \frac{1}{3} \sigma^* \right) + \frac{\sigma^*}{9K^*}; & \varepsilon_{yz} &= \frac{1}{G^*} \sigma_{yz}^*; \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{1}{2G^*} \left( \sigma_{zz}^* - \frac{1}{3} \sigma^* \right) + \frac{\sigma^*}{9K^*}; & \varepsilon_{zx} &= \frac{1}{G^*} \sigma_{zx}^*. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $K^*$  – обобщённый модуль объёмного расширения;  $G^*$  – обобщённый модуль сдвига;

$$\sigma^* = \sigma_{xx}^* + \sigma_{yy}^* + \sigma_{zz}^*; \quad \varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}. \quad (6)$$

Обобщённые напряжения  $\sigma_{ij}^*$  связаны с истинными напряжениями  $\sigma_{ij}$ , действующими на площадках, которые до деформации были перпендикулярны осям декартовой системы координат  $X, Y, Z$ , формулами:

$$\sigma_{ij}^* = \frac{1}{1 + E_j} \frac{S_i^*}{S_i} \sigma_{ij} \quad (\text{не суммировать}). \quad (7)$$

Здесь  $E_j$  – относительное удлинение волокон сплошной среды, параллельных до деформации осям декартовой системы координат  $X, Y, Z$ ;  $\frac{S_i^*}{S_i}$  – отношение площадей элементарных площадок, выделенных в сплошной среде после деформации, к их площадям до деформации, которые до деформации были перпендикулярны осям  $X, Y, Z$ .

Относительные удлинения волокон, параллельных до деформации осям декартовой системы координат  $X, Y, Z$ , определяются по формулам:

$$E_x = \sqrt{1 + 2\varepsilon_{xx}} - 1; \quad E_y = \sqrt{1 + 2\varepsilon_{yy}} - 1; \quad E_z = \sqrt{1 + 2\varepsilon_{zz}} - 1. \quad (8)$$

Отношения площадей элементарных площадок, выделенных в сплошной среде после и до деформации, равны:

$$\begin{aligned} \frac{S_x^*}{S_x} &= \sqrt{(1 + 2\varepsilon_{yy})(1 + 2\varepsilon_{zz}) - \varepsilon_{yz}^2}; \\ \frac{S_y^*}{S_y} &= \sqrt{(1 + 2\varepsilon_{zz})(1 + 2\varepsilon_{xx}) - \varepsilon_{zx}^2}; \\ \frac{S_z^*}{S_z} &= \sqrt{(1 + 2\varepsilon_{xx})(1 + 2\varepsilon_{yy}) - \varepsilon_{xy}^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Для рассматриваемого тонкого стержня (см. рис. 1) истинные напряжения будут, очевидно, определяться соотношениями:

$$\sigma_{xx} = 0, \quad \sigma_{yy} = 0, \quad \sigma_{zz} = \gamma z, \quad \sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{zx} = 0. \quad (10)$$

Тогда обобщённые напряжения, вычисляемые по формулам (6) с учётом зависимостей (7), (8) и (9), составят:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}^* &= 0, \quad \sigma_{yy}^* = 0, \quad \sigma_{xy}^* = \sigma_{yz}^* = \sigma_{zx}^* = 0, \\ \sigma_{zz}^* &= \sqrt{\frac{(1 + 2\varepsilon_{xx})(1 + 2\varepsilon_{yy}) - \varepsilon_{xy}^2}{1 + 2\varepsilon_{zz}}} \gamma z. \end{aligned} \quad (11)$$

Теперь, с учетом соотношений (11) и формул (6), деформации, определяемые физическими зависимостями (5), будут равны:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \left( \frac{1}{9K^*} - \frac{1}{6G^*} \right) \sqrt{\frac{(1 + 2\varepsilon_{xx})(1 + 2\varepsilon_{yy}) - \varepsilon_{xy}^2}{1 + 2\varepsilon_{zz}}} \gamma z; \quad \varepsilon_{xy} = 0; \\ \varepsilon_{yy} &= \left( \frac{1}{9K^*} - \frac{1}{6G^*} \right) \sqrt{\frac{(1 + 2\varepsilon_{xx})(1 + 2\varepsilon_{yy}) - \varepsilon_{xy}^2}{1 + 2\varepsilon_{zz}}} \gamma z; \quad \varepsilon_{yz} = 0; \\ \varepsilon_{zz} &= \left( \frac{1}{9K^*} + \frac{1}{3G^*} \right) \sqrt{\frac{(1 + 2\varepsilon_{xx})(1 + 2\varepsilon_{yy}) - \varepsilon_{xy}^2}{1 + 2\varepsilon_{zz}}} \gamma z; \quad \varepsilon_{zx} = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Полученные соотношения позволяют наметить итерационный алгоритм вычисления перемещений в рассматриваемом стержне:

1. Задаёмся первоначальными функциями распределения перемещений в стержне, например упругими перемещениями, согласно [1].
2. Вычисляем радикал в формуле (11).
3. Интегрируем первую группу соотношений (12).
4. Постоянные интегрирования – произвольные функции двух пространственных переменных – определяем, используя зависимости (3).

5. Строим функции перемещений  $u(x, y, z)$ ,  $v(x, y, z)$ ,  $w(x, y, z)$ .

6. Проверяем выполнение второй группы соотношений (12). Если результаты отличны от нуля, то, используя полученные формулы для перемещений, вычисляем радикал в формуле (11) и расчёт повторяем, начиная с пункта 3.

При реализации данного алгоритма обобщённый модуль объёмного расширения  $K^*$  и обобщённый модуль сдвига  $G^*$  будем считать величинами постоянными и, в соответствии с принципом эквивалентности формы записей замыкающих уравнений [3, 4, 5], равными их значениям при упругой работе стержней без учёта геометрической нелинейности:

$$K^* = K = \text{const}, \quad G^* = G = \text{const}.$$

Введём обозначения:

$$A = \frac{1}{9K^*} - \frac{1}{6G^*}, \quad B = \frac{1}{9K^*} + \frac{1}{3G^*}, \quad C = \sqrt{\frac{(1+2\varepsilon_{xx})(1+2\varepsilon_{yy}) - \varepsilon_{xy}}{1+2\varepsilon_{zz}}}. \quad (13)$$

При этом формулы (12) получают вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= AC\gamma z; & \varepsilon_{xy} &= 0; \\ \varepsilon_{yy} &= AC\gamma z; & \varepsilon_{yz} &= 0; \\ \varepsilon_{zz} &= BC\gamma z; & \varepsilon_{zx} &= 0. \end{aligned} \quad (14)$$

В качестве первоначальных функций перемещений можно принять функции перемещений в упругом стержне [1]:

$$u = -\frac{\mu\gamma}{E}zx; \quad v = -\frac{\mu\gamma}{E}zy; \quad w = \frac{\gamma}{2E}\left[z^2 + \mu(x^2 + y^2) - l^2\right]. \quad (15)$$

Параметр  $C$  при этом, с учётом соотношений (4), будет функцией координаты  $z$ :

$$C(z) = \left[1 - 2\frac{\mu\gamma}{E}z + \left(\frac{\mu\gamma}{E}z\right)^2\right] \times \left[1 - 2\frac{\gamma}{E}z + \left(\frac{\gamma}{E}z\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}.$$

Вполне понятно, что построение решения задачи об определении перемещений в тонком стержне становится при этом чрезвычайно сложным. Упрощая задачу, будем считать, что в первом приближении  $C = 1$ .

В пределах упругих деформаций связь между коэффициентом поперечной деформации  $\mu$  и модулем упругости  $E$ , а также между обобщёнными модулями объёмного расширения  $K$  и сдвига  $G$  устанавливается соотношениями:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}, \quad K = \frac{E}{3(1-2\mu)}; \quad \text{либо} \quad E = \frac{9KG}{3K+G}, \quad \mu = \frac{3K-2G}{2(3K+G)}.$$

Принимая во внимание зависимости (14), интегрируем первую группу соотношений (4):

$$\begin{aligned} u &= AC\gamma zx - \frac{1}{2}(AC\gamma)^2 z^2 x + f(y, z), \\ v &= AC\gamma zy - \frac{1}{2}(AC\gamma)^2 z^2 y + \varphi(z, x), \\ w &= BC\gamma \frac{z^2}{2} - \frac{1}{2}(BC\gamma)^2 \frac{z^3}{3} + \psi(x, y). \end{aligned} \quad (16)$$

При построении соотношений (16) радикал в подынтегральном выражении раскладывался в ряд Тейлора с сохранением квадратичных слагаемых.

Подставив соотношения (16) в зависимости (3), получим:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \psi(x, y)}{\partial y} &= \frac{\partial \varphi(z, x)}{\partial z} + AC\gamma y - (AC\gamma)^2 zy, \\ \frac{\partial \psi(x, y)}{\partial x} &= \frac{\partial f(y, z)}{\partial z} + AC\gamma x - (AC\gamma)^2 zx, \\ \frac{\partial \varphi(z, x)}{\partial x} &= \frac{\partial f(y, z)}{\partial y}.\end{aligned}\quad (17)$$

Дифференцируя (17<sub>1</sub>) по “y”, а (17<sub>2</sub>) – по “x”, будем иметь:

$$\frac{\partial^2 \psi(x, y)}{\partial y^2} = AC\gamma - (AC\gamma)^2 z, \quad \frac{\partial^2 \psi(x, y)}{\partial x^2} = AC\gamma - (AC\gamma)^2 z.$$

Отсюда следует, что функцию  $\psi(x, y)$  можно записать в виде следующего выражения:

$$\psi(x, y) = ax + by + cxy + d + [AC\gamma - (AC\gamma)^2] \cdot \left( \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2} \right).\quad (18)$$

Дифференцируя (17<sub>1</sub>) по “z”, а (17<sub>3</sub>) – по “x”, получаем:

$$\frac{\partial^2 \varphi(z, x)}{\partial z^2} = (AC\gamma)^2 y, \quad \frac{\partial^2 \varphi(z, x)}{\partial x^2} = 0.$$

Это означает, что функция  $\varphi(z, x)$  должна иметь следующий вид:

$$\varphi(z, x) = ex + kz + mxz + n + (AC\gamma)^2 y \frac{z^2}{2}.\quad (19)$$

Дифференцируя (17<sub>2</sub>) по “z”, а (17<sub>3</sub>) – по “y”, получаем:

$$\frac{\partial^2 f(y, z)}{\partial z^2} = (AC\gamma)^2 x, \quad \frac{\partial^2 f(y, z)}{\partial y^2} = 0.$$

Значит, функция  $f(y, z)$  будет иметь следующий вид:

$$f(y, z) = py + rz + syz + t + (AC\gamma)^2 x \frac{z^2}{2}.\quad (20)$$

В формулах (18), (19) и (20) величины  $a, b, c, d, e, k, m, n, p, r, s, t$  – это постоянные интегрирования.

Подставив зависимости (18), (19) и (20) в формулы (17), получим:

$$\begin{aligned}b + cx &= k + mx + (AC\gamma)^2 zy, \\ a + cy &= r + sy + (AC\gamma)^2 zx, \\ e + mz &= p + sz.\end{aligned}\quad (21)$$

Из первых двух соотношений (21) найдём:

$$(AC\gamma)^2 zy = (b - k) + (c - m)x, \quad (AC\gamma)^2 zx = (a - r) + (c - s)y.\quad (22)$$

Подставив (22) в формулы (18), (19), (20), найдём выражения для произвольных функций  $f(y, z)$ ,  $\varphi(z, x)$  и  $\psi(x, y)$  – постоянных интегрирования первой группы соотношений (4):

$$\begin{aligned} f(y, z) &= py + rz + syz + t + [(a-r) + (c-s)y] \frac{z}{2}, \\ \varphi(z, x) &= ex + kz + mxz + n + [(b-k) + (c-m)x] \frac{z}{2}, \\ \psi(x, y) &= ax + by + cxy + d + AC\gamma \left( \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2} \right) - \\ &\quad - [(a-r) + (c-s)y] \frac{x}{2} - [(b-k) + (c-m)x] \frac{y}{2}. \end{aligned} \quad (23)$$

С учётом зависимостей (23) перемещения (16) получают вид:

$$\begin{aligned} u &= AC\gamma zx + py + rz + syz + t, \\ v &= AC\gamma zy + ex + kz + mxz + n, \\ w &= BC\gamma \frac{z^2}{2} - (BC\gamma)^2 \frac{z^3}{6} + ax + by + cxy + d + AC\gamma \left( \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2} \right) - \\ &\quad - [(a-r) + (c-s)y] \frac{x}{2} - [(b-k) + (c-m)x] \frac{y}{2}. \end{aligned} \quad (24)$$

Далее, проверяя выполнение условия малости квадратов величин  $e_{x,y}$ ,  $e_{e,z}$ ,  $e_{z,x}$ , приходим к соотношениям:

$$\begin{aligned} p + sz + e + mz &= 0, \\ AC\gamma y + \frac{3}{2}k + \frac{3}{2}mx + \frac{1}{2}b + \frac{1}{2}sx &= 0, \\ AC\gamma x + \frac{1}{2}a + \frac{3}{2}r + \frac{3}{2}sy + \frac{1}{2}my &= 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Из соотношений (21<sub>3</sub>) и (25<sub>1</sub>) следует, что  $p = e$ ,  $s = m$ ,  $p = -e$ ,  $s = -m$ , то есть  $p = s = e = m = 0$ . Тогда формулы для перемещений (24) получают вид:

$$\begin{aligned} u &= AC\gamma zx + rz + t, \\ v &= AC\gamma zy + kz + n, \\ w &= BC\gamma \frac{z^2}{2} - (BC\gamma)^2 \frac{z^3}{6} + ax + by + d + \\ &\quad + AC\gamma \left( \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2} \right) - (a-r) \frac{x}{2} - (b-k) \frac{y}{2}. \end{aligned} \quad (26)$$

Для определения постоянных интегрирования  $a, b, d, k, n, r, t$  рассмотрим условия в точке подвеса стержня при  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = l$ :

1. Перемещения равны нулю:  $u = 0$ ,  $v = 0$ ,  $w = 0$ , то есть

$$t = -rl, \quad n = -kl, \quad d = (BC\gamma)^2 \frac{l^3}{6} - BC\gamma \frac{l^2}{2}.$$

2. Поворот вокруг оси  $X$ :  $\frac{\partial v}{\partial z} = AC\gamma y + k = 0$ , то есть  $k = 0$ .

3. Поворот вокруг оси  $Y$ :  $\frac{\partial u}{\partial z} = AC\gamma x + r = 0$ , то есть  $r = 0$ .

4. Поворот вокруг оси  $Z$ :  $\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial x} \equiv 0$ .

В итоге формулы для перемещений (26) получают вид:

$$\begin{aligned} u &= AC\gamma zx, \\ v &= AC\gamma zy, \\ w &= (BC\gamma)^2 \left( \frac{l^3}{6} - \frac{z^3}{6} \right) - BC\gamma \left( \frac{l^2}{2} - \frac{z^2}{2} \right) + AC\gamma \left( \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2} \right) + a \frac{x}{2} + b \frac{y}{2}. \end{aligned} \quad (27)$$

Для определения постоянных  $a$  и  $b$  рассмотрим вторую группу соотношений (14). Подставим перемещения (27) во вторую группу соотношений (4). После элементарных преобразований получим:

$$a = -4AC\gamma x, \quad b = -4AC\gamma y.$$

Таким образом, окончательные формулы для определения перемещений в тонком призматическом стержне, который находится под действием собственного веса и деформации которого определяются геометрически-нелинейными соотношениями, в первом приближении (без учёта обобщённых напряжений), получают вид:

$$\begin{aligned} u &= AC\gamma zx, \\ v &= AC\gamma zy, \\ w &= \frac{1}{6}(BC\gamma)^2 (l^3 - z^3) - \frac{1}{2}BC\gamma (l^2 - z^2) - \frac{3}{2}AC\gamma (x^2 + y^2). \end{aligned} \quad (28)$$

На рис 2 и 3 представлены графики перемещений  $u$ ,  $v$ ,  $w$  как функции координаты  $z$ , построенные как по соотношениям (28) – перемещения  $u(z)$  и  $v(z)$ , так и по соотношениям (15) – перемещения  $ul(z)$  и  $vl(z)$ . Расчёт выполнялся для стального стержня длиной  $l = 12$  м с прямоугольным поперечным сечением  $0,02 \times 0,01$  м, выполненного из стали с модулем упругости  $E = 2,06 \cdot 10^{11}$  Па, и коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$ . Графики перемещений в направлении осей  $X$  и  $Y$  построены для бокового контура стержня, то есть для  $x = \frac{x_0}{2}$  и  $y = \frac{y_0}{2}$ .

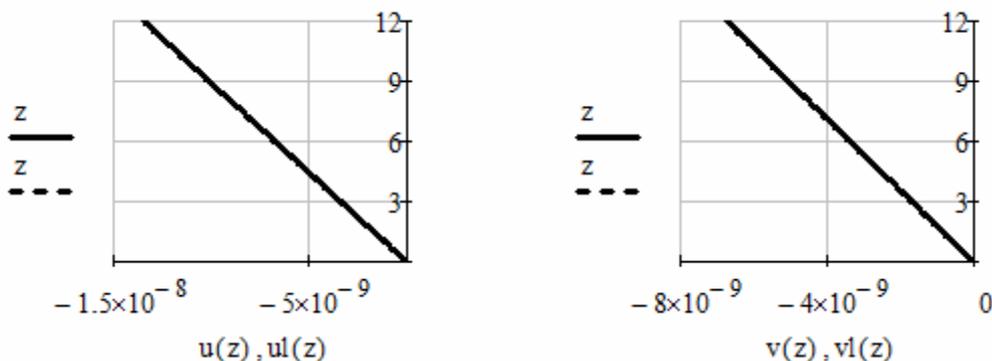


Рис. 2

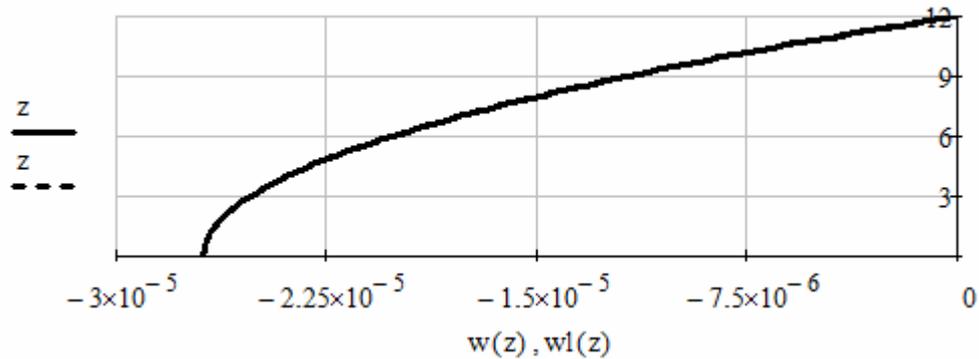


Рис. 3

Как следует из рис. 1–3, эти графики практически сливаются. Ниже показаны численные значения перемещений  $u$  и  $v$  в точке подвеса:

$$u(1) = -1.34440776699 \times 10^{-8} \text{ m} \quad v(1) = -6.722038834951 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$u1(1) = -1.34440776699 \times 10^{-8} \text{ m} \quad v1(1) = -6.722038834951 \times 10^{-9} \text{ m}$$

Численные значения перемещений  $w$  на свободном (нижнем) конце стержня:

$$w(0\text{-m}) = -2.688809416827 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$w1(0\text{-m}) = -2.688814833768 \times 10^{-5} \text{ m}$$

*Заключение.* Полученные результаты теоретических изысканий могут быть использованы при определении перемещений в тонких стержнях, механическое поведение которых описывается геометрически-нелинейными соотношениями.

#### Список литературы

1. Безухов, Н.И. Примеры и задачи по теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. – М.: Высшая школа, 1965. – 320 с.
2. Новожилов, В.В. Теория упругости / В.В. Новожилов. – Л.: Судпромгиз, 1958. – 370 с.
3. Бакушев, С.В. Вариант построения расчётных моделей геометрически-нелинейных сплошных сред / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1991. – №9. – С.24–29.
4. Бакушев, С.В. К вопросу о замыкающих уравнениях в геометрически-нелинейной механике / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство. – 1997. – №5. – С.17–20.
5. Бакушев, С.В. К вопросу о расчёте деформируемых тел с учётом геометрической и физической нелинейности / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство. – 2003. – №8. – С.20–25.

#### References

1. Bezukhov, N.I. Tasks and problems on the theory of elasticity, plasticity and creepage / N.I. Bezukhov. – M.: Higher school, 1965. – 320 p.
2. Novozhilov, V.V. Theory of elasticity / V.V. Novozhilov. – L.: Sudpromgiz, 1958. – 370 p.
3. Bakushev, S.V. A variant of designing calculative models of geometrically non-linear spheres / S.V. Bakushev // Colleges news. Construction and architecture. – 1991. – №9. – P. 24–29.
4. Bakushev, S.V. To the question of closure equations in geometrically non-linear mechanics / S.V. Bakushev // Colleges news. Construction. – 1997. – №5. – P. 17–20.
5. Bakushev, S.V. To the question of deformable bodies calculation considering geometrical and physical non-linearity / S.V. Bakushev // Colleges news. Construction. – 2003. – №8. – P. 20–25.

*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

**Корнюхин Анатолий Владимирович**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Геотехника и дорожное строительство»

**Киселев Артем Анатольевич**,  
аспирант

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

**Kornuhin Anatoly Vladimirovich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Geotechnics and road  
construction»

**Kiselev Artem Anatolyevich**,  
Postgraduate

## ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РОСТВЕРКОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

А.В. Корнюхин, А.А. Киселев

Показано, что оценка прочности ростверков как конструктивных элементов зданий и сооружений на основе экспериментально-теоретических исследований позволяет добиться рационального использования материалов с усовершенствованием методики расчета.

*Ключевые слова:* ростверк, напряженно-деформированное состояние, численный эксперимент

## STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE RAFT FOUNDATION UNDER SHEAR FORCES

A.V. Kornuhin, A.A. Kiselev

It is shown that evaluation of gratings strength, as constructive elements of buildings and structures allows to achieve rational use of material crystals to improve methods of calculation.

*Keywords:* grillage, stress-strain state, numerical experiment

В Пензенском государственном университете архитектуры и строительства была реализована комплексная программа по экспериментально-теоретическому исследованию ростверков свайных фундаментов. По теме программы были опубликованы научные статьи и доклады [1, 3, 4]. Авторы провели научный анализ результатов численного эксперимента железобетонных ростверков.

В результате исследований предполагалось решить следующие задачи – определить напряженно-деформированное состояние ростверков с двухрядным расположением свай при постоянном шаге свай в поперечном направлении 900 мм, при постоянной высоте ростверка 500 мм, при поперечном сечении сваи 300×300 мм. В продольном направлении при исследовании величины пролета среза  $a/h_0$  от 0,5 до 1,5 расстояние между осями свай изменялось от 800 до 1600 мм. Программой предусмотрен расчет трех вариантов.

В расчетных схемах ростверков были использованы объемные конечные элементы в виде параллелепипедов. Так как ростверки являются многопролетными конструкциями, то для расчета выделялся фрагмент конструкции. Действие отброшенной части заменялось связями. Для каждого типа ростверка выбиралась своя расчетная схема. Равномерно распределенная нагрузка, действующая на ростверк, моделировалась сосредоточенными силами единичной величины в узлах конечных элементов. При разработке расчетной модели использовались основные принципы проектирования сложных технических систем [5–8].

В расчетной модели применялись объемные конечные элементы с гранями  $100 \times 50$ ,  $100 \times 75$ ,  $100 \times 100$  мм толщиной 75 мм в сечениях по сваям и толщиной 50, 100 мм в сечениях между сваями. Расчетные схемы ростверков с двухрядным расположением свай показаны на рис. 1.

В результате расчетов для каждого образца получены величины нормальных  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  и касательных  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zx}$  напряжений в центре тяжести каждого объемного элемента, а также величины главных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ .

На рис. 2 представлен характер распределения **сжимающих напряжений  $\sigma_z$** . Максимальные значения напряжений располагаются у нижней грани ростверка над опорным сечением свай. Эпюра  $\sigma_z$  по длине ростверка носит резко неравномерный характер, начиная с нижних слоев конечных элементов.

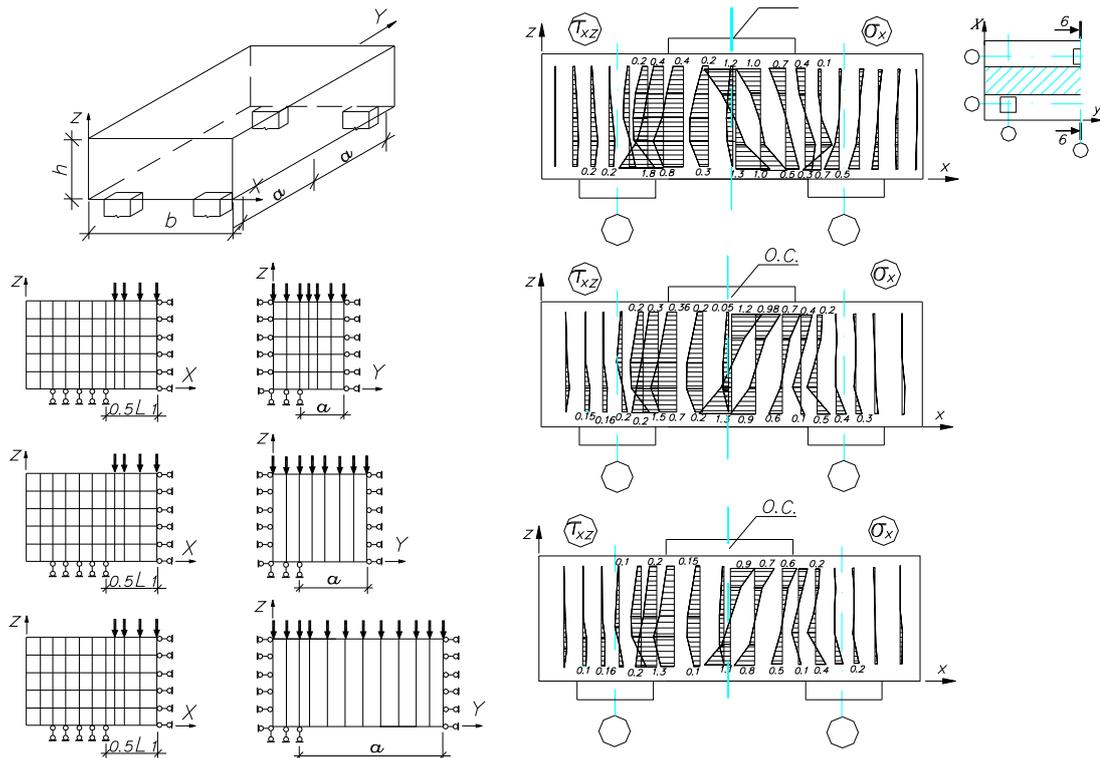


Рис. 1. Расчетная схема ростверков с двухрядным расположением свай

Рис. 2. Распределение напряжений  $\sigma_x$ ,  $\tau_{zx}$  в сечении 6-6. Сверху вниз соответственно:  $a/h_0=1,5$ ;  $a/h_0=1,0$ ;  $a/h_0=0,5$

При этом неравномерность эпюры  $\sigma_z$  сглаживается в средних слоях конечных элементов. С приближением к верхней грани, то есть к грузовой полосе, напряжения  $\sigma_z$  распределяются равномерно по всей длине ростверка. Таким образом, характер сжимающих напряжений  $\sigma_z$  принимает веерообразную форму распределения в сумме рассматриваемых сечений (рис. 3). Наиболее выраженной является эпюра, которая расположена над сваей-опорой, имеет седлообразное очертание и которую, по существу, можно разделить на три характерных участка (рис.3). Первый участок располагается над средней частью сваи-опоры и характеризуется спокойным, то есть равномерным, распределением сжимающих напряжений  $\sigma_z$ . Второй и третий участки располагаются симметрично справа и слева относительно среднего участка. Характер распределения  $\sigma_z$  на этих участках резко неравномерный. С уменьшением  $a/h_0$  до 0,5 неравномерность напряжений на участках 2 и 3 возрастает.

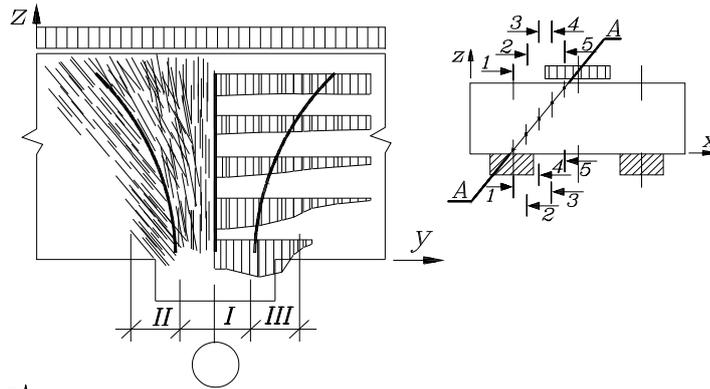


Рис. 3. Эпюры напряжений  $\sigma_z$  в продольном направлении ростверков в сечениях 1-1÷5-5 на уровне наклонного сечения А-А при  $a/h_0=0,5$

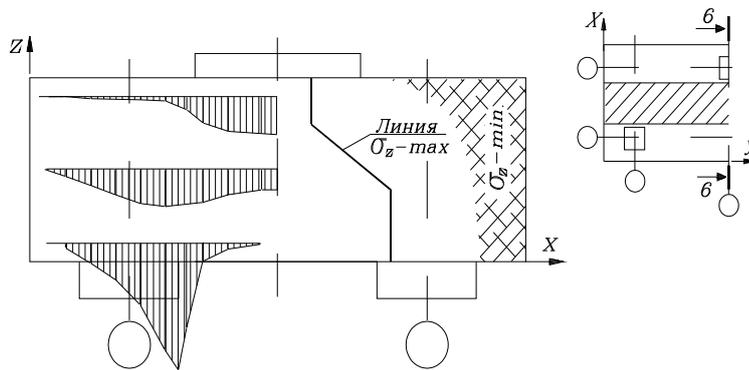


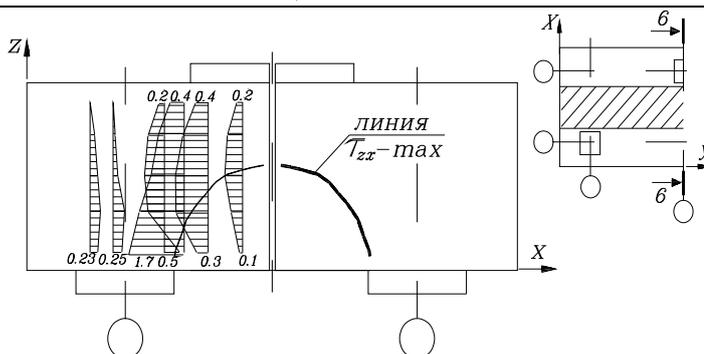
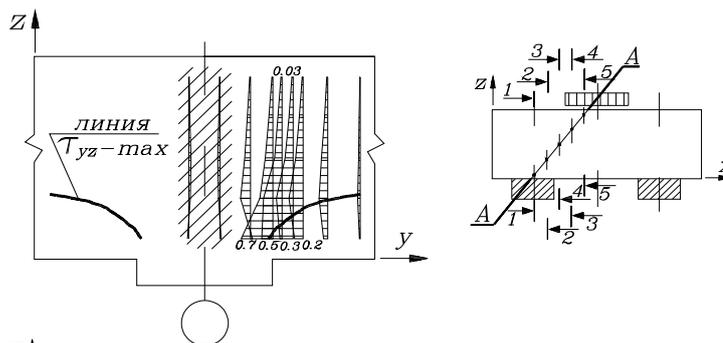
Рис. 4. Распределение напряжений  $\sigma_z$  в ростверках с двухрядным расположением свай в сечении 6-6

Сопоставляя характер распределения  $\sigma_z$  в продольном направлении ростверков от максимального к минимальному (см. рис.3), можно проследить, как меняется расположение линий  $\sigma_{z \max}$ . На первом участке, находящемся над средней частью свай, линия максимальных напряжений имеет вертикальную траекторию независимо от схемы расположения свай и пролета среза. Линии максимальных напряжений для второго и третьего участков имеют криволинейную траекторию выпуклого очертания. При этом с увеличением  $a/h_0$  до 1,5 возрастают криволинейность и наклон линии  $\sigma_{z \max}$ .

В поперечном направлении – сечение 6-6 – максимальные значения сжимающих напряжений располагаются над свайей и под грузовой полосой (рис. 4). Линия  $\sigma_{\max}$  имеет  $\hookleftarrow$ -образную траекторию, при этом по ширине свайи напряжения распределяются не равномерно. Максимальные значения концентрируются у внутренней грани, а у внешней грани опоры напряжения  $\sigma_z$  уменьшаются до нуля. При этом «рабочая площадь» опорной площадки составляет  $2/3$  от общей площади свайи.

В поперечном сечении ростверка, как и в продольном, выделяются зоны с малыми (нулевыми) и максимальными напряжениями  $\sigma_z$ . Зоны  $\sigma_{z-\min}$  и  $\sigma_{z=0}$  располагаются у боковых граней ростверка. Зоны наибольших сжимающих напряжений заключаются в наклонный участок, имеющий ориентацию от опоры к грузовой полосе (см. рис.4). С увеличением пролета среза  $a/h_0$  в продольном направлении от 0,5 до 1,5 величина  $\sigma_{\max}$  возрастает примерно в 2 раза.

**Касательные напряжения  $\tau_{xz}$  и  $\tau_{yz}$ .** Максимальные значения  $\tau_{xz}$  находятся в зоне, расположенной между соседними гранями опорной и грузовой площадок, то есть в зоне среза. Надопорный участок ростверка – сечение 6-6 – характеризуется наличием двузначной эпюры напряжений (рис. 5).


 Рис. 5. Распределение касательных напряжений  $\tau_{xz}$  в сечении 6-6

 Рис. 6. Эпюра напряжений  $\tau_{yz}$  в продольном направлении ростверков в сечениях 1-1÷5-5 на уровне наклонного сечения А-А

В продольном направлении касательные напряжения  $\tau_{yz}$  также концентрируются в пролете среза. С увеличением шага свай характер распределения напряжений меняется. При малом шаге свай  $a/h_0=0,5$  максимальные напряжения концентрируются в нижних слоях конечных элементов в пролете среза, а в верхней части напряжения  $\tau_{yz}$  приближаются к нулю. С увеличением пролета среза максимальные значения касательных напряжений рассредоточиваются с нижних рядов конечных элементов до средних. При  $a/h_0=1,5$  концентрация максимальных напряжений в нижней части сохраняется, но при этом увеличиваются значения  $\tau_{yz}$  в верхних слоях ростверка (рис.6).

На основе анализа эпюр касательных напряжений можно сделать вывод о том, что характер распределения  $\tau_{yz}$  главным образом зависит от величины пролета среза. При малых величинах  $a/h_0$  максимальные касательные напряжения концентрируются в нижних рядах конечных элементов. При этом в верхних рядах значения  $\tau_{xz}$  и  $\tau_{yz}$  весьма незначительны. С увеличением пролета среза возрастают значения напряжений  $\tau_{yz}$  в верхних и средних рядах.

В целом характер распределения напряжений  $\tau_{yz}$  по сечению А-А в продольном направлении ростверка в значительной степени отличается от характера распределения касательных напряжений в балках [2]. Траектория линии максимальных напряжений  $\tau_{yz-max}$ , по сути, прогнозирует характер развития наклонных трещин в ростверке.

**Главные напряжения  $\sigma_1$   $\sigma_2$  и углы наклона.** Анализируя в целом характер распределения главных деформаций (сжимающих напряжений), можно отметить, что они концентрируются в наклонный поток, который расположен между грузовой полосой и опорными площадками и образует наклонные участки пространственной ориентации с максимальными значениями (рис. 7).

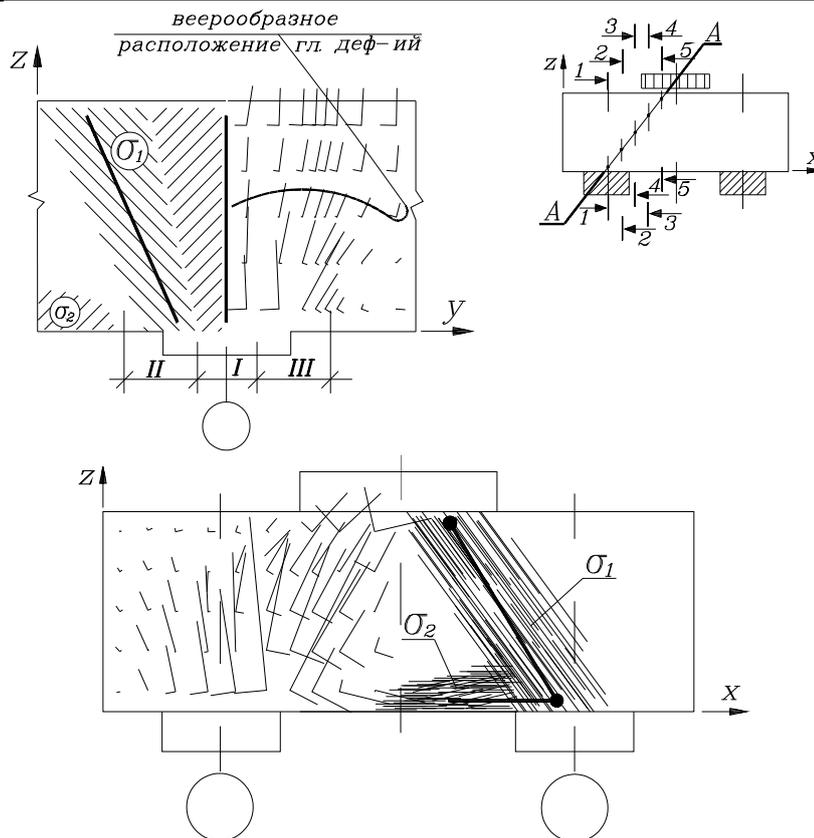


Рис. 7. Поля главных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  в продольном (слева) и поперечном (справа) направлениях ростверков

Средний угол наклона главных векторов деформаций (напряжений) изменяется по высоте ростверка следующим образом. В зоне приложения нагрузки и над сваяй он составляет  $95\text{--}80^\circ$ . В промежутках между этими зонами он уменьшается и составляет  $50\text{--}43^\circ$ .

Рассматривая главные деформации (напряжения) на уровне сечения А-А (см. рис.7), можно отметить веерообразный характер распределения  $\sigma_1$  и три характерные зоны концентрации над опорой. В средней части ростверка главные сжимающие напряжения (деформации) имеют угол наклона, близкий к  $90^\circ$ , и создают вертикальный поток сжимающих напряжений над средней частью сваи – участок 1. В приопорной зоне, расположенной над боковыми гранями сваи, образуются два симметричных наклонных потока главных сжимающих напряжений – участки 2 и 3. С увеличением шага свай угол наклона напряжений боковых потоков уменьшается.

Главные деформации удлинения (напряжения  $\sigma_2$ ) концентрируются в горизонтальной плоскости у нижней грани ростверка по направлению осей свай-опор. Характерно, что напряжения  $\sigma_2$ , расположенные в зоне среза, изменяют свой характер распределения с увеличением шага свай.

При рассмотрении характера распределения главных деформаций (напряжений)  $\sigma_2$  по нижней грани ростверка выделены три условные зоны их концентрации – в поперечном, продольном и диагональном направлениях.

Таким образом, анализ результатов численного эксперимента показал:

- В ростверках с двухрядным и шахматным расположением свай определяющую роль играют главные сжимающие и растягивающие напряжения. Величина главных сжимающих напряжений увеличивается с перемещением от верхней грани ростверка к свае-опоре.
- В отличие от характера распределения напряжений  $\sigma_1$  в коротких балках и консолях, в ростверках с двухрядным расположением свай указанные напряжения

имеют два угла наклона, в поперечном и продольном направлении, что объясняется смещением грузовой полосы относительно продольной оси ряда свай.

- Траектория максимальных главных сжимающих напряжений имеет трапециевидную форму усеченной пирамиды с наибольшей концентрацией над опорной площадкой.

#### Список литература

1. Корнюхин, А.В. Прочность ростверков свайных фундаментов при двухрядном и шахматном расположении свай: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Корнюхин. – Пенза, 1997. – 161 с.
2. Снежкина, О.В. Короткие балки. Моделирование физической работы: монография / О.В. Снежкина, А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 124 с.
3. Корнюхин, А.В. Экспериментально-теоретические исследования толстых плит: монография / А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова, О.В. Снежкина. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 132 с.
4. Скачков, Ю.П. Определение схем разрушения и трещинообразования коротких железобетонных балок по экспериментальным данным / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3(17).
5. Будылина, Е.А. Фундаментальные основы оценки качества сложных систем / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 4 (14). – С. 6–9.
6. Будылина, Е.А. Основные принципы проектирования сложных технических систем в приложениях / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.С. Махонин // Молодой ученый. – 2013. – № 5. – С. 42–45.
7. Скачков, Ю.П. Модификация метода Паттерн к решению архитектурно-строительных задач / Ю.П. Скачков, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 1. – С. 4–9.
8. Будылина, Е.А. Междисциплинарный подход к идентификации / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Жесткова // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 5–6 (15–16). – С. 3–6.

#### References

1. Kornuhin, A.V. Strength grillage pile foundations with two-row and chess location piles: dis.... kand. tehn. Sciences / A.V. Kornuhin. – Penza, 1997. – 161 p.
2. Snezhkina, O.V. Short beams. Modeling of physical work: monograph / O.V. Snezhkina, A.V. Kornuhin, M.V. Kochetkova. – Penza, 2011. – 124 p.
3. Kornuhin, A.V. Experimental and theoretical studies of thick plates: monograph / A.V. Kornuhin, M.V. Kochetkova, O.V. Snezhkina. – Penza, 2013. – 132 p.
4. Skachkov, Y.P. Definition of failure modes and fissuring short reinforced concrete beams on experimental data / Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, A.V. Kornuhin, M.V. Kochetkova // Regional architecture and construction. – 2013. – № 3(17).
5. Budylyna, E.A., Fundamentals of assessing the quality of complex systems / EA Budylyna, I.A. Garcina, A. M. Danilov // New University. Series: Technical Sciences. – 2013. – No. 4 (14). – P. 6–9.
6. Budylyna, E.A. Basic principles of design of complex technical systems in applications / EA Budylyna, I.A. Garcina, A. M. Danilov, A.S. Makhonin // Young scientist. – 2013. – No. 5. – P. 42–45.
7. Skachkov, Y.P. Modification of the method of Pattern to the solution of architectural problems / Y.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garcina // Regional architecture and construction. – 2011. – No. 1. – P. 4–9.
8. Budylyna, E.A. Interdisciplinary approach to identification / E.A. Budylyna, I.A. Garcina, A. M. Danilov, S.A. Zhestkov // New University. Series: Technical science. – 2013. – No. 5–6 (15–16). – P. 3–6.

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

## ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.3

*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

**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»

**Князев Владимир Александрович,**  
аспирант кафедры «Водоснабжение,  
водоотведение и гидротехника»

*Пензенский государственный  
технологический университет*

Россия, 440039, Пенза,  
ул. Гагарина, 11  
тел.: (8412) 49-54-41; факс: (8421) 49-60-86

**Яхкин Михаил Ильич,**

кандидат технических наук, научный  
сотрудник кафедры «Биотехнология  
и техносферная безопасность»

E-mail: yah@mail333.com

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

**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»

**Knyazev Vladimir Aleksandrovich,**

Postgraduate of the department «Water,  
sanitation and water technology»

*Penza State Technological University*

Russia, 440039, Penza, 11, Gagarina St.,  
tel.: (8412) 49-54-41; fax: (8412) 49-60-86

**Yakhkind Michael Il'ich,**

Candidate of Sciences, Research fellow  
of the department «Biotechnology  
and environmental safety»

E-mail: yah@mail333.com

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

С.Ю. Андреев, М.И. Яхкин, И.А. Гарькина, В.А. Князев

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований технологии реагентной очистки сточных вод с использованием растворов каустической соды, прошедших электрохимическую активацию с образованием в этих растворах феррата натрия. Показано, что электроактивация 30 % раствора каустической соды позволяет уменьшить концентрации ионов тяжелых металлов в очищенных сточных водах: железа – в 66 раз; меди – в 90-146 раз; цинка – в 56-100 раз; кадмия – в 4 раза; хрома(III) – в 3-6 раз.

*Ключевые слова: феррат натрия; мембранный электролизер; реагентная очистка; электроактивация; каустическая сода*

# THE USE OF THE TECHNOLOGY OF ALKALINE REAGENTS ELECTROCHEMICAL ACTIVATION FOR THE INTENSIFICATION OF LOCAL TREATMENT FACILITIES PERFORMANCE

S.Y. Andreev, M.I. Yakhkind, I.A. Gar'kina, V.A. Knyazev

The article gives the results of theoretical and experimental investigations of the technology of waste waters reagent treatment using caustic solutions after electrochemical activation with formation of sodium ferrate in these solutions. It is shown the electroactivation of 30 % caustic solution allows to reduce concentrations of heavy metal ions in treated waste waters: iron – in 66 times; copper – in 90-146 times; zinc – in 56-100 times; cadmium – in 4 times; chromium(III) – in 3-6 times.

*Keywords: sodium ferrate; membrane electrolyzer; reagent treatment; electroactivation; caustic*

В настоящее время, несмотря на постоянное совершенствование и улучшение современных технологий на предприятиях приборостроения, гальваническое производство по-прежнему относится к числу наиболее экологически опасных. В технологических процессах нанесения гальванопокрытий образуются чрезвычайно токсичные и опасные для окружающей среды сточные воды, а при очистке гальваностокков существующими методами образуются осадки 1-го и 2-го классов опасности.

Традиционно используемый на станциях нейтрализации реагентный метод осаждения катионов тяжелых металлов в виде их гидроксидов не обеспечивает необходимой степени извлечения из сточных вод высокотоксичных компонентов. В очищенных этим методом сточных водах присутствуют значительные остаточные концентрации ионов тяжелых металлов, находящихся в виде комплексных соединений. Разрушить эти соединения можно методами химической деструкции.

Методы химической деструкции загрязнений широко применяются в процессах очистки и доочистки сточных вод. Сущность процессов реагентной деструкции заключается в окислении загрязняющих соединений сточных вод в ходе протекания окислительно-восстановительных реакций [1...3].

Одним из наиболее мощных реагентов-окислителей является феррат натрия. Окислительный потенциал феррата натрия (в кислой среде  $E^0 = +2,2$  В) выше окислительного потенциала озона и является наибольшим в ряду реагентов-окислителей, используемых в настоящее время.

Феррат натрия проявляет ярко выраженные окислительные свойства и способен окислять многие токсичные вещества до малотоксичных продуктов. Окислительные и дезинфицирующие свойства феррата натрия были описаны многими авторами [4].

Феррат натрия представляет собой экологически чистый реагент-окислитель. В ходе обработки сточных вод феррат-ионами происходит восстановление железа с +6 до +3; в результате образуется нетоксичное соединение, обладающее ярко выраженными коагулирующими и флокулирующими свойствами, – гидроксид железа(III) («ржавчина»). Поэтому феррат натрия может выступать в роли мощного дезинфицирующего, дезодорирующего и коагулирующего реагента.

На основании этого для активации щелочных реагентов, используемых на локальных канализационных очистных сооружениях гальваностокков, было предложено вводить в них феррат натрия.

Наиболее простым и технологичным способом получения щелочного раствора феррата натрия является обработка крепкого раствора щелочи в электролизере с железным анодом.

С целью повышения выхода по току основного продукта предлагается разделять прикатодные и прианодные области электролита в электролизере неселективной мембраной, что позволяет предотвратить восстановление на катоде образовавшегося феррата натрия.

Феррат натрия является нестабильным соединением, в присутствии воды он со временем разлагается с выделением кислорода.

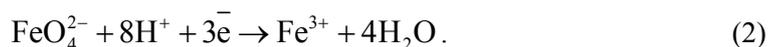


Будучи сильным окислителем, феррат натрия легко окисляет комплексные соединения тяжелых металлов, что должно способствовать повышению эффективности процесса реагентной очистки сточных вод гальванопроизводств. При этом феррат натрия, в отличие от хлора, не образует токсичных продуктов реакции.

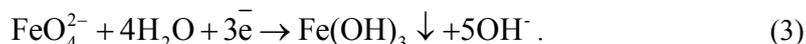
Продукт ферратной обработки – гидроксид железа(III), который является коагулянт. Поэтому ферратная обработка позволит увеличить гидравлическую крупность образующегося осадка и существенно интенсифицировать работу сооружений, предназначенных для осветления сточных вод.

Окислительно-восстановительный потенциал феррат-ионов зависит от рН среды.

В кислой среде уровень окислительно-восстановительного потенциала феррат-ионов достигает величины  $E^0 = +2,2 \text{ В}$



В нейтральной и щелочной среде значение окислительно-восстановительного потенциала феррат-ионов  $E^0 = +0,72 \text{ В}$ .



В процессе взаимодействия с водой одна молекула феррата натрия образует 5 ионов  $\text{OH}^-$ , что обуславливает повышенный уровень щелочности обработанных сточных вод, вследствие чего можно ожидать существенного сокращения расхода щелочных реагентов на локальных очистных сооружениях гальваностокков.

На первом этапе исследований проводилось изучение влияния концентрации раствора каустической соды на стабильность полученного реагента-окислителя.

Исследовали модельные растворы каустической соды в водопроводной воде с массовой концентрацией щелочи по товарному продукту 50 % и 30 %.

В первой серии опытов в электролизер заливали 100 мл 50 % раствора каустической соды и проводили электрообработку. Полученный образец активированного 50 % раствора каустической соды, содержащий 1 % феррата натрия, хранили в темном месте при температуре 20°C. Период полного распада 1 % раствора феррата натрия в 50 % растворе каустической соды составил 360 ч.

Во второй серии опытов в электролизер заливали 100 мл 30 % раствора каустической соды и проводили его электрообработку. Период полного распада 1 % раствора феррата натрия в 30 % растворе каустической соды составил 140 ч.

На втором этапе исследований проводили изучение процесса реагентной очистки реальных сточных вод гальванопроизводств с использованием активированных растворов каустической соды. Сточные воды отбирали в мерный стакан вместимостью 1 л, и в них дозирующим устройством переменного объема вводили раствор каустической соды. Перемешивание сточных вод с реагентами осуществляли с помощью магнитной мешалки.

Было проведено четыре серии экспериментов – две для 50 % и две для 30 % раствора каустической соды. В контрольных сериях использовали неактивированные растворы каустической соды. В опытных сериях экспериментов использовали активированные растворы каустической соды, прошедшие обработку в электролизере (т.е. содержащие феррат натрия).

После 15-минутного перемешивания в сточные воды дозировали флокулянт (полиакриламид). Сточные воды перемешивали в течение 3 минут, затем отключали магнитную мешалку, сточные воды отстаивались в течение 30 минут. Осветленные сточные воды отбирали на химический анализ. Часть объема отобранных осветленных сточных вод подвергали фильтрации через бумажный фильтр. Полученный фильтрат также отправляли на химический анализ.

Дополнительно повысить эффективность химического осаждения ионов тяжелых металлов можно за счет применения реагентов-осадителей, содержащих сульфидные соединения. Было принято решение изучить возможность дополнительной обработки сточных вод, прошедших очистку с использованием активированного раствора

каустической соды, сульфидом натрия (концентрация сульфида натрия по товарному продукту в обрабатываемых сточных водах 10 мг/л).

Результаты исследования процесса очистки сточных вод гальвано-производств с использованием 50 % растворов щелочи (каустической соды) представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты исследований процесса очистки сточных вод гальвано-производств с использованием 50 % растворов щелочи

Показатели загрязнений сточных вод	Концентрации загрязнений в исходных сточных водах, мг/л	Концентрации загрязнений в сточных водах, обработанных щелочью, после отстаивания, мг/л	Эффект очистки сточных вод с использованием щелочи после отстаивания, %	Концентрации загрязнений в сточных водах, обработанных активированной щелочью, после отстаивания, мг/л	Концентрации загрязнений в сточных водах, обработанных активированной щелочью, после отстаивания и фильтрации, мг/л	Концентрации загрязнений в сточных водах, обработанных активированной щелочью и сульфидом, после отстаивания и фильтрации, мг/л	Эффект очистки сточных вод с использованием активированной щелочи и сульфида после отстаивания и фильтрации, %
Железо	19,75	3,29	83,3	1,99	<0,05	<0,05	99,8
Медь	0,74	0,45	39,2	0,23	<0,005	<0,005	99,3
Хром(III)	1,92	0,64	66,7	0,73	0,26	0,26	86,5
Цинк	1,92	0,28	85,4	<0,005	<0,005	<0,005	99,7
Кадмий	1,20	0,02	98,3	0,1	0,015	<0,005	99,6

В процессе реагентной обработки сточных вод как в контрольной, так и в опытной серии экспериментов в мерный стакан дозировали по 0,42 мл раствора щелочи. При добавлении неактивированного раствора каустической соды значение рН сточных вод увеличилось до 9,52. При добавлении активированного раствора каустической соды значение рН сточных вод возросло до 9,61.

Более значимое увеличение уровня рН сточных вод при добавлении в них активированного раствора каустической соды может быть объяснено протеканием реакции окисления ферратом натрия, сопровождающейся выделением ОН-ионов (согласно уравнению (3)).

Результаты исследования процесса очистки сточных вод гальвано-производств с использованием 30 % растворов щелочи (каустической соды) представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты исследований процесса очистки сточных вод гальвано-производств с использованием 30 % растворов щелочи

Показатели загрязнений сточных вод	Концентрации загрязнений в исходных сточных водах, мг/л	Концентрации загрязнений в сточных водах, обработанных щелочью, после отстаивания, мг/л	Эффект очистки сточных вод с использованием щелочи после отстаивания, %	Концентрации загрязнений в сточных водах, обработанных активированной щелочью, после отстаивания, мг/л	Концентрации загрязнений в сточных водах, обработанных активированной щелочью, после отстаивания и фильтрации, мг/л	Концентрации загрязнений в сточных водах, обработанных активированной щелочью и сульфидом, после отстаивания и фильтрации, мг/л	Эффект очистки сточных вод с использованием активированной щелочи и сульфида после отстаивания и фильтрации, %
Железо	2,30	<0,05	97,8	<0,05	<0,05	<0,05	97,8
Медь	1,72	0,73	57,6	0,31	<0,005	<0,005	99,7
Хром(III)	0,90	0,28	68,9	<0,05	<0,05	<0,05	94,4
Цинк	0,78	0,50	35,9	0,18	<0,005	<0,005	99,4
Кадмий	1,02	0,02	98,0	0,07	0,01	<0,005	99,5

В процессе реагентной обработки сточных вод в контрольной серии экспериментов в мерный стакан добавляли 0,32 мл неактивированного раствора щелочи. Значение рН сточных вод увеличилось до 9,86. После 15-минутного перемешивания сточных вод магнитной мешалкой уровень рН сточных вод понизился до 9,4, что может быть объяснено образованием гидроксидов тяжелых металлов.

В опытной серии экспериментов при реагентной обработке сточных вод в мерный стакан добавляли 0,27 мл активированного раствора щелочи. Значение рН сточных вод увеличилось до 9,75. После 15-минутного перемешивания сточных вод магнитной мешалкой, несмотря на интенсивные образования хлопьев гидроксидов тяжелых металлов, уровень рН сточных вод повысился до 9,86.

Процесс повышения уровня рН сточных вод после их обработки активированным раствором щелочи, как было указано выше, может быть объяснен протеканием реакции окисления ферратом натрия, сопровождающейся выделением  $\text{OH}^-$ -ионов.

Таким образом, активационная обработка 30 % раствора каустической соды в мембранном электролизере с железным анодом позволяет уменьшить расход щелочи на процесс реагентной очистки сточных вод гальванопроизводств в 1,19 раза.

Выделяющийся в процессе гидролиза феррата натрия гидроксид железа(III) является коагулянтом. Поэтому использование активированного раствора каустической соды позволило существенно улучшить седиментационные свойства образующегося осадка. Гидравлическая крупность образующегося в контрольной серии экспериментов осадка составила  $U_0 = 0,4-0,7$  мм/с, а в опытной серии экспериментов гидравлическая крупность образующегося осадка достигала значений  $U_0 = 3-5$  мм/с.

Значительное повышение величины гидравлической крупности осадка, образующегося в процессе реагентной обработки сточных вод, позволит существенно интенсифицировать работу установленных на локальных канализационных очистных сооружениях осветлителей.

Внедрение на сооружениях по очистке сточных вод гальванопроизводств предлагаемой технологии активации щелочных реагентов может обеспечить достижение качества очищенных сточных вод, требуемого при сбросе их в водоем, и снизить концентрации ионов тяжелых металлов: железа – в 66 раз, меди – в 90-146 раз, цинка – в 56-100 раз, кадмия – в 4 раза, хрома(III) – в 3-6 раз.

#### Список литературы

1. Яковлев, С.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков. – М.: Стройиздат, 1990. – 510 с.
2. Перфильев, Ю.Д. Новая ферратная технология очистки воды / Ю.Д. Перфильев, Л.А. Куликов, С.К. Дедушенко. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2004. – 7 с.
3. Андреев, С.Ю. Высокоэффективные конструкции аэраторов пневматического типа для биологической очистки сточных вод: депонированная рукопись, № 1891-В, 30.11.2004 / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришина, С.Н. Хазов, М.В. Бikuнова. – М., 2004. – 112 с.
4. Андреев, С.Ю. Флотационная очистка нефтесодержащих сточных вод с применением вихревых смесительных устройств / С.Ю. Андреев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – №1. – С. 92–97.

#### References

1. Yakovlev, S.V. Drainage systems of industrial enterprises / S.V. Yakovlev, Y.A. Karelin, Y.M. Caressing. – M.: Stroyizdat, 1990. – 510 p.
2. Perfil'ev, Y.D. New ferrate water treatment technology / Y.D. Perfil'ev, L.A. Kulikov, S.K. Dedushenko. – M.: MSU. MV Lomonosov, 2004. – 7 p.
3. Andreev, S.Y. Highly efficient design of pneumatic type aerators for biological wastewater treatment: deposited the manuscript number 1891-B, 30.11.2004 / S.Y. Andreev, B.M. Grishina, S.N. Hazov, M.V. Bikunova. – M., 2004. – 112 p.
4. Andreev, S.Y. Flotation treatment of oily wastewater using vortex mixing devices / S.Y. Andreev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2009. – №1. – P. 92–97.

УДК 628.3

*Пензенский государственный  
технологический университет*Россия, 440039, Пенза,  
ул. Гагарина, 11  
тел.: (8412) 49–54–41; факс: (8421) 49–60–86**Яхкин Михаил Ильич,**  
кандидат технических наук, научный  
сотрудник кафедры «Биотехнология  
и техносферная безопасность»  
E-mail: yah@mail333.com*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Андреев Сергей Юрьевич,**  
доктор технических наук, профессор кафедры  
«Водоснабжение, водоотведение и  
гидротехника»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru**Гарькина Ирина Александровна,**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Математика  
и математическое моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru**Князев Владимир Александрович,**  
аспирант кафедры «Водоснабжение,  
водоотведение и гидротехника»*Penza State Technological University*Russia, 440039, Penza, 11, Gagarina St.,  
tel.: (8412) 49–54–41; fax: (8412) 49–60–86**Yakhkind Michael P'ich,**  
Candidate of Sciences, Research fellow  
of the department «Biotechnology  
and environmental safety»  
E-mail: yah@mail333.com*Penza State University of Architecture  
and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Andreev Sergey Yuryevich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Water supply, sewerage and  
hydraulic engineering»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru**Garkina Irina Aleksandrovna,**  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Mathematics  
and mathematical modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru**Knyazev Vladimir Aleksandrovich,**  
Postgraduate of the department «Water,  
sanitation and water technology»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ХИМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРАТОВ

М.И. Яхкин, С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев

Представлен обзор первых работ по получению ферратов, в которых определены три основные группы методов получения ферратов: химическое окисление, электрохимическое окисление, высокотемпературное окисление. Предпочтительным способом для промышленного получения ферратов признано электрохимическое окисление.

*Ключевые слова:* ферраты, химическое окисление, электрохимическое окисление, высокотемпературное окисление

## METHODS OF IRON COMPOUNDS CHEMICAL AND ELECTROCHEMICAL OXIDATION IN THE TECHNOLOGY OF FERRATES PREPARATION PRODUCTION

M.I. Yakhkind, S.Y. Andreev, I.A. Gar'kina, V.A. Knyazev

The first papers on ferrates production have been reviewed. Three main groups of methods of ferrates production were defined in them: chemical oxidation, electrochemical oxidation, high-temperature oxidation. Electrochemical oxidation is recognized as a preferable method for industrial ferrates production.

*Keywords:* ferrates; chemical oxidation; electrochemical oxidation; high-temperature oxidation

Ферраты(VI) являются сильными окислителями, превосходящими по окислительному потенциалу (в кислой среде) не только хлор, но и озон. При этом они являются экологически чистыми реагентами, поскольку в ходе обработки воды ферратами происходит восстановление железа с +6 до +3, и в результате образуются нетоксичные соединения железа(III). Поэтому ферраты можно использовать в качестве реагентов-окислителей для обработки не только питьевой воды, но и сточных вод.

Основными причинами, препятствующими внедрению процессов очистки воды с использованием ферратов, по нашему мнению, являются отсутствие технологии, приемлемой для массового производства, и нестабильность этих соединений в растворе и в твердом виде в присутствии воды.

Феррат калия впервые был описан французским ученым Фреми в 1841 г. [1]. Фреми исходил из предположения, что у железа могут быть соединения со степенью окисления более высокой, чем обычная +3, по аналогии с марганцем, для которого к тому времени уже были известны манганаты и перманганаты. В своих исследованиях он использовал методы, которые, по его мнению, должны были привести к получению таких соединений железа.

В своих работах [1-3] Фреми описал несколько методов получения феррата калия, которые он отнес к двум группам:

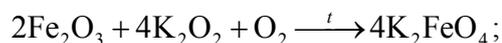
- высокотемпературное окисление оксида железа(III) и железа в твердом виде («сухой способ» в терминологии Фреми);
- химическое окисление гидроксида железа(III) в щелочных растворах («мокрый способ»).

Для высокотемпературного окисления Фреми описал четыре варианта проведения процесса:

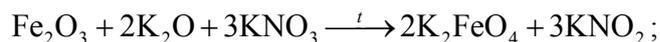
1) взаимодействие оксида железа(III) с оксидом калия в токе воздуха или, лучше, кислорода:



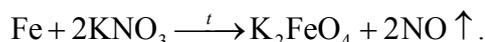
2) взаимодействие оксида железа(III) с пероксидом калия также в присутствии воздуха или кислорода:



3) взаимодействие оксида железа(III) с оксидом калия и нитратом калия:



4) взаимодействие металлического железа с нитратом калия:



Проведя синтез по варианту 1, Фреми предположил, что эта реакция идет через пероксид калия. Поэтому далее он получил пероксид калия, провел синтез по варианту 2 и нашел, что в этом случае процесс идет лучше.

Вариант 3 отличается от варианта 1, по существу, только тем, что источником кислорода является нитрат калия, и процесс также идет лучше, чем по первому варианту, вероятно, потому, что не надо подавать кислород извне.

Предложив вначале три варианта высокотемпературного окисления [1], немного позже Фреми добавил к ним еще один [2], причем считал его наилучшим, поскольку синтез по вариантам 1-3 не всегда проходил успешно [3].

Следует отметить, что в то время химикам уже была известна реакция взаимодействия железа с нитратом натрия, дающая оксид железа(III) (с выделением тепла, обычно со взрывом):



Фреми предположил, что при действии на образующийся оксид железа(III) оксида калия и кислорода может получаться феррат калия (как в варианте 1):



Фреми удалось подобрать условия, чтобы получить именно феррат калия. Для этого он нагревал железные опилки до красного каления, а потом добавлял к ним в нужной пропорции высушенный и мелко растертый нитрат калия.

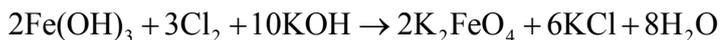
По-видимому, механизм реакции взаимодействия железа и нитрата натрия не такой, как предполагал Фреми (с выделением NO, что у него не было отмечено), но для получения феррата калия это не имеет значения.

Ферраты достаточно легко распознаются по характерной окраске – темные красно-фиолетовые кристаллы, соответствующую окраску имеют и растворы.

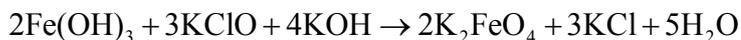
Другими учеными была описана реакция оксида железа(III) с нитратом калия без оксида калия, что следует считать модификацией варианта 3 [4, 5] (вероятная схема процесса, протекающего с выделением газа):



Для химического окисления Фреми предложил один вариант – действие газообразного хлора на суспензию гидроксида железа(III) в концентрированном растворе гидроксида калия, по аналогии с уже известным в то время процессом получения перманганата [1-3]:



Процесс, по мнению Фреми, идет через гипохлорит калия [2]:



Если гидроксид калия взят в избытке, происходит осаждение феррата калия. Для получения чистого продукта Фреми растворял феррат калия в воде и осаждал его концентрированным раствором гидроксида калия [3].

Кроме того, Фреми получил феррат натрия химическим окислением, однако ему не удалось осадить его в твердом виде из-за более высокой растворимости этой соли. Получить феррат натрия высокотемпературным окислением по 4-му варианту ему не удалось из-за меньшей реакционной способности нитрата натрия. Также им были получены некоторые другие соли обменными реакциями с ферратом калия [3].

Дополнительно можно отметить, что позже был получен феррат натрия действием пероксида натрия на железо в воздухе, процесс в этом случае, скорее всего, идет через оксид железа(III), т.е. по варианту 2 высокотемпературного окисления [6].

В том же 1841 г. немецкий ученый Поггендорф (знакомый с работой Фреми [1]) предложил принципиально иной метод получения ферратов – электрохимическое окисление [7] (что считают третьей группой методов). Он проводил эксперименты, в которых использовал гальваническую цепь, включающую платиновую пластину, погруженную в раствор азотной кислоты (катод), и пластины из различных материалов, погруженные в концентрированный раствор гидроксида калия (анод). Для ряда материалов на аноде просто наблюдалось выделение кислорода (графит, платина, никель и др.), для других этот процесс сопровождался окислением материала анода – потускнением / образованием покрытия на его поверхности (серебро, медь, сурьма и др.). И только чугун растворялся, давая раствор с характерной винно-красной окраской (с попутным выделением кислорода). Из полученного раствора со временем выпадал осадок оксида железа(III). По этим признакам Поггендорф сделал вывод, что в данном случае идет процесс окисления железа с образованием феррата калия. При этом процесс получения феррата калия шел только для двух видов чугуна, с которыми он

работал, еще один давал незначительное количество этого продукта, а последний не давал его вообще. Обычная сталь того времени также давала незначительное количество феррата калия, а ковачное железо (самое чистое железо того времени) не давало вообще. Сила тока в этих случаях была близкой, и Поггендорф объяснил это явление присутствием в реагирующем чугуна частиц углерода. Он считал, что этот способ синтеза лучше предложенных Фреми, однако не выделил феррат калия в осажденном виде.

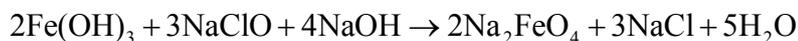
Фреми также показал, что оксид железа, соответствующий железной кислоте, имеет формулу  $\text{FeO}_3$  [3]. Его метод включал термическое разложение в растворе феррата калия, полученного химическим окислением, определение количества выделившегося кислорода и количества выпавшего в осадок оксида железа(III) (состав которого в то время был уже известен). Сопоставление этих количеств подтвердило формулу  $\text{FeO}_3$ .

Независимо от Фреми подобный анализ с теми же результатами выполнил Смит [4], причем он использовал феррат калия, полученный высокотемпературным окислением.

Другой метод анализа использовал Розе [8]. Он включал восстановление в растворе феррата калия, полученного электрохимическим окислением, газообразным диоксидом серы до оксида железа(III), отделение выпавшего осадка (и удаление остатков газа) и осаждение из раствора образовавшегося сульфата добавлением хлорида бария. Количество полученного сульфата бария было пропорционально количеству кислорода, высвободившегося из феррата калия. Сопоставление количества оксида железа(III) и количества сульфата бария также подтвердило формулу  $\text{FeO}_3$ .

Эти исследования показали, что при всех указанных способах получения феррата калия образуется один и тот же продукт.

Долгое время ферраты оставались чисто лабораторными продуктам, которые исследователи получали сами. Ситуация изменилась только после 1950 г., когда был предложен метод химического окисления, в котором вместо хлора использовали гипохлорит натрия (как было указано, еще Фреми предполагал, что окисление хлором идет через гипохлорит [2]):



Согласно первоначальному варианту [9], к щелочному раствору гипохлорита натрия добавляли пасту гидроксида железа(III), полученную из хлорида железа(III) и гидроксида натрия в воде. Процесс проводили при  $50-55^\circ\text{C}$  с добавлением твердого гидроксида натрия. Продукт высаждали в виде феррата калия (эта соль менее растворима) твердым гидроксидом калия при охлаждении и переосаждали из раствора гидроксида калия с промывкой этанолом. Этот лабораторный вариант давал выход до 15 %.

Согласно модифицированному варианту [10], к щелочному раствору гипохлорита натрия просто добавляли твердый нитрат железа(III), процесс проводили при  $25-30^\circ\text{C}$  с добавлением твердого гидроксида натрия. Далее процесс вели подобно первоначальному варианту, выход – до 76 %.

Насколько нам известно, именно по этому методу было начато производство феррата калия, что сделало возможным его практическое применение [11].

На основании этой информации можно сделать вывод, что, по существу, еще Фреми и Поггендорф определили три основные группы методов получения ферратов, которые используются и в наше время:

- химическое окисление соединений железа(II) и (III) в щелочных растворах;
- электрохимическое окисление железа в щелочных растворах;
- высокотемпературное окисление железа, соединений железа (II) и (III) в твердом виде.

Химическое окисление требует применения газообразного хлора или гипохлорита натрия, что неудобно с экологической точки зрения. Для реализации высокотемпературного окисления необходимы высокие температуры, а также твердые окислители, что делает этот процесс взрывоопасным.

Таким образом, проведенный обзор технологических процессов синтеза высокоэффективных реагентов-окислителей позволяет сделать вывод, что предпочтительным методом промышленного получения ферратов является электрическое окисление соединений железа(II) и (III).

#### Список литературы

1. Fremy, E. Recherches sur l'action des peroxides alcalins sur les oxides métalliques / E. Fremy // *Compt. Rend. Acad. Sci.* 1841. 12, 23-24.
2. Fremy, E. Recherches sur les acides métalliques / E. Fremy // *Compt. Rend. Acad. Sci.* 1842, 14, 442-446.
3. Fremy, E. Recherches sur les acides métalliques / E. Fremy // *Ann. Chim. Phys.* 1844, 12, 361-382.
4. Smith, J.D. On the composition of an acid oxide of iron (ferric acid) / J.D. Smith // *Phil. Mag.* 1843, 23, 217-225.
5. Wittstein, G.C. Beitrag zur Bildung und Darstellung der Eisensäure / G.C. Wittstein // *Repertor. Pharm.* 1845, 89 (39), 176-179.
6. Wallace, T. Some properties of fused sodium hydroxide / T. Wallace, A. Fleck // *J. Chem. Soc. Trans.* 1921, 119, 1839-1860.
7. Poggendorff, J. C. Ueber die Frage, ob es wirksame galvanische Ketten ohne primitive chemische Action gebe, und über die Bildung der Eisensäure auf galvanischem Wege / J. C. Poggendorff // *Ann. Phys. Chem.* 1841, 130 (54), 353-377.
8. Rose H. Ueber die Zusammensetzung der Eisensäure / H. Rose // *Ann. Phys. Chem.* 1843, 135 (59), 315-325.
9. Hrostowski, H.J. The magnetic susceptibility of potassium ferrate / H.J. Hrostowski, A. B. Scott // *J. Chem. Phys.* 1950, 18, 105-107.
10. Thompson, G.W. Preparation and purification of potassium ferrate VI / G.W. Thompson, L.T. Ockerman, J.M. Schreyer // *J. Amer. Chem. Soc.* 1951, 73, 1379-1381.
11. Андреев, С.Ю. Интенсификация 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.

#### References

1. Fremy, E. Recherches sur l'action des peroxides alcalins sur les oxides métalliques / E. Fremy // *Compt. Rend. Acad. Sci.* 1841. 12, 23-24.
2. Fremy, E. Recherches sur les acides métalliques / E. Fremy // *Compt. Rend. Acad. Sci.* 1842, 14, 442-446.
3. Fremy, E. Recherches sur les acides métalliques / E. Fremy // *Ann. Chim. Phys.* 1844, 12, 361-382.
4. Smith, J.D. On the composition of an acid oxide of iron (ferric acid) / J.D. Smith // *Phil. Mag.* 1843, 23, 217-225.
5. Wittstein, G.C. Beitrag zur Bildung und Darstellung der Eisensäure / G.C. Wittstein // *Repertor. Pharm.* 1845, 89 (39), 176-179.
6. Wallace, T. Some properties of fused sodium hydroxide / T. Wallace, A. Fleck // *J. Chem. Soc. Trans.* 1921, 119, 1839-1860.
7. Poggendorff, J. C. Ueber die Frage, ob es wirksame galvanische Ketten ohne primitive chemische Action gebe, und über die Bildung der Eisensäure auf galvanischem Wege / J. C. Poggendorff // *Ann. Phys. Chem.* 1841, 130 (54), 353-377.
8. Rose H. Ueber die Zusammensetzung der Eisensäure / H. Rose // *Ann. Phys. Chem.* 1843, 135 (59), 315-325.
9. Hrostowski, H.J. The magnetic susceptibility of potassium ferrate / H.J. Hrostowski, A. B. Scott // *J. Chem. Phys.* 1950, 18, 105-107.
10. Thompson, G.W. Preparation and purification of potassium ferrate VI / G.W. Thompson, L.T. Ockerman, J.M. Schreyer // *J. Amer. Chem. Soc.* 1951, 73, 1379-1381.
11. Andreev, S.Y. Intensification of industrial wastewater using an oxidizing agent based on sodium ferrate / S.Y. Andreev, I.A. Garkina, N.N. Laskov, V.A. Knyazev // *Regional architecture and engineering.* – 2014. – №2. – P.152-156.

УДК 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**Дулатов Рустам Летфуллаевич,**  
магистрант  
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**Dulatov Rustam Letfullaevich,**  
Postgraduate  
E-mail: fmatem@pguas.ru

## РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Р.Л. Дулатов

Предлагаются методы ретроспективной идентификации сложных систем, в том числе идентификации помех и мест их локализации. Предполагается возможность декомпозиции системы на подсистемы по различным уровням иерархии. Основное внимание уделяется рассмотрению одноканальных систем управления.

*Ключевые слова: сложные системы, эргатические системы, структурная и параметрическая идентификация, помехи и их локализация*

## RETROSPECTIVE COMPLEX SYSTEMS IDENTIFICATION

A.M. Danilov, I.A. Garkina, R.L. Dulatov

The methods of retrospective identification of complex systems, including interference identification and localization of sites are presented. Decomposition of system into subsystems of different levels of hierarchy. The main attention is paid to the single-channel control systems.

*Keywords: complex systems, human-machine system, structural and parametric identification, noise and their localization*

При разработке сложных систем с системными атрибутами одной из актуальных задач является декомпозиция системы на составляющие с возможностью их последующего агрегирования в целостную систему. Все это в полной мере относится к эргатическим (человеко-машинным) системам. В силу многомерности и многосвязности системы и использования для оценки ее качества векторного критерия с неизбежностью применяется разбиение системы на отдельные каналы управления. Ограничимся идентификацией динамических характеристик отдельных каналов управления, а также помех и мест их локализации.

В прямой задаче управления по операторному уравнению определяется выходная координата системы (при известных возмущении и статистических характеристиках помехи), а также оператор системы/ее звеньев (рис.1):

$$y(t) = W [W_2 [x, n]],$$
$$x_1(t) = W_2 [x, n],$$

где  $x_1(t)$  – управляющий сигнал;  $y(t)$  – выходная координата (реакция на управляющий сигнал);  $W$  – оператор объекта управления.

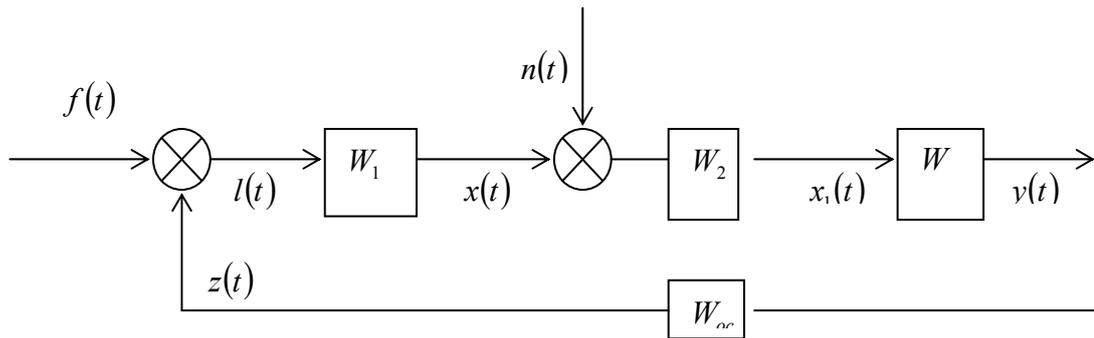


Рис.1. Структурная схема замкнутой системы

В системах с обратной связью управляющий сигнал  $x(t)$  формируется по сигналу обратной связи  $z(t)$  и возмущению  $f(t)$ , действующему на входе системы:

$$x(t) = W_1(z, f, t);$$

$$y(t) = W \{ W_2 [ W_1(f, z, t); n ] \}.$$

При решении двух обратных задач используются реализации случайных процессов в системе, которые регистрируются в режиме ее функционирования. В *первой* определяется оператор системы (*задача идентификации*). *Вторая* связана с отысканием статистических характеристик внешних возмущений  $f(t)$ , действующих на систему, внутренних помех  $n(t)$  и мест их локализации (*идентификация возмущений и помех*). Их одновременное решение невозможно.

Так, *идентификация динамических характеристик* может производиться лишь при наличии экспериментальных данных о сигналах и априорных сведений о внутренних помехах (необходимы в случаях, когда они коррелированы с внешними возмущениями). Часто данные о помехах можно получить априори лишь при отладке систем (при отсутствии внешних возмущений). Естественно, полученные в результате идентификации динамические характеристики системы будут отличаться от тех, которые соответствуют режиму функционирования системы.

Для стационарных систем динамические характеристики и взаимная спектральная плотность не зависят от времени. Частотная характеристика идентифицируемой системы определяется по известным спектральным плотностям:

$$W(j\omega) = \frac{S_{xy}(j\omega)}{S_{xx}(\omega)}.$$

Если осуществляется идентификация динамической системы с предисторией (функционирует задолго до момента анализа  $t_0 = 0$ ; накопление энергии к моменту  $t_0 = 0$ ), то возможно получение значительных ошибок (связаны с погрешностями вычисления корреляционных функций и спектральных плотностей).

При идентификации надо помнить о ее некорректности. Действительно, импульсная переходная функция представляется в виде

$$\omega(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} W(j\omega) e^{j\omega\tau} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{S_{xy}(j\omega)}{S_{xx}(\omega)} e^{j\omega\tau} d\omega.$$

При ошибке  $\pm \delta K_{xy}(\tau)$  вычисления взаимной корреляционной функции  $K_{xy}(\tau)$  вместо истинной импульсной переходной функции получим ее оценку

$$\omega^*(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{S_{xy}(j\omega) \pm \delta S_{xy}(j\omega)}{S_{xx}(\omega)} e^{j\omega\tau} d\omega.$$

Норма ошибки

$$\|\omega - \omega^*\| = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{S_{xy}(j\omega)}{S_{xx}(\omega)} e^{j\omega\tau} d\omega$$

может быть сколь угодно большой в зависимости от распределения спектральной плотности  $S_{xx}(\omega)$ ; корректность решения во многом определяется распределением спектральной плотности входного сигнала.

Для колебательных систем весьма актуально решение уравнения идентификации

$$W(j\omega) = \frac{1}{2\pi\Phi(j\omega)} \int_0^{\infty} e^{-j\omega\chi} d\chi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_{xy}(\mu)}{\Phi(-j\mu)} e^{j\mu\chi} d\mu$$

для системы, находящейся под воздействием стационарных или стационаризуемых входных сигналов. Корректность решения связана с выполнением условий:

– спектральная плотность  $S_{xx}(\omega) = \frac{P(\omega)}{Q(\omega)}$  должна содержать четные степени  $\omega$ ,

если степень числителя  $P(\omega)$  меньше степени знаменателя  $Q(\omega)$ ;

– знаменатель  $Q(\omega)$  не должен иметь действительных корней и превращаться в нуль или быть достаточно близок к нему;

– числитель  $P(\omega)$  не должен иметь действительных корней;

– коэффициенты полиномов  $P(\omega)$  и  $Q(\omega)$  должны быть действительными.

Точность идентификации будет тем больше, чем больше  $Q(\omega)$  отличается от нуля при всех действительных  $\omega$  в диапазоне исследуемых частот.

Для решения ряда задач виброзащиты при решении уравнения идентификации можно воспользоваться процедурой, включающей:

– определение по экспериментальным данным корреляционной функции входного сигнала  $K_{xx}(\tau)$  и взаимной корреляционной функции  $K_{yx}(\tau)$ ;

– вычисление  $S_{xx}(\omega)$  и ее представление в виде  $S_{xx}(\omega) = \frac{P(\omega)}{Q(\omega)}$ ;

– определение частотной характеристики  $\Phi(j\omega) = \frac{H(j\omega)}{F(j\omega)}$  формирующего

фильтра ( $S_{xx}(\omega) = \left| \frac{H(j\omega)}{F(j\omega)} \right|^2$ ;  $P(\omega) = H(j\omega)H(-j\omega)$ ,  $Q(\omega) = F(j\omega)F(-j\omega)$ );

– определение спектральной плотности  $S_{xy}(j\omega)$  по корреляционной функции  $K_{xy}(\tau)$ ;

– определение

$$W(j\omega) = \frac{1}{2\pi\Phi(j\omega)} \int_0^{\infty} e^{-j\omega\chi} d\chi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_{xy}(\mu)}{\Phi(-j\mu)} e^{j\mu\chi} d\mu.$$

Предложенный алгоритм прошел положительную апробацию при определении характеристик как объекта, так и оператора по данным нормального функционирования транспортной эргатической системы [1...3].

Далее рассмотрим задачу идентификации внутренних помех и их локализации в замкнутой нестационарной системе (рис.2).

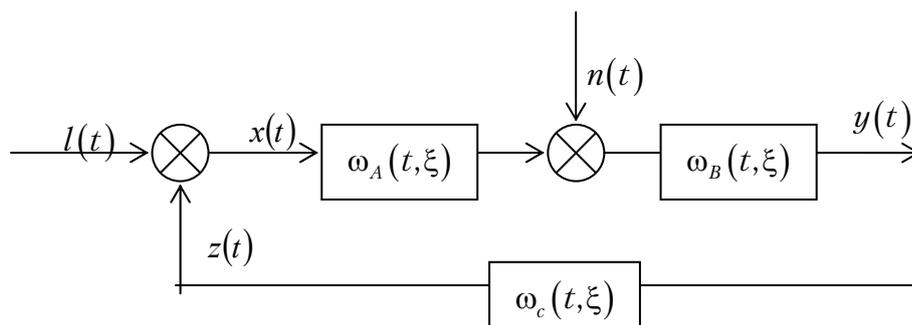


Рис.2. Структурная схема замкнутой системы с помехой:

$\omega(t, \xi)$ ,  $\omega_A(t, \xi)$ ,  $\omega_B(t, \xi)$ ,  $\omega_C(t, \xi)$  – импульсные переходные функции соответственно всей системы; части объекта регулирования, где действием помех можно пренебречь; объекта по отношению к помехе; обратной связи

В режиме функционирования производятся измерения  $l(t)$  и  $y(t)$ ; можно считать известными математические ожидания  $m_l(t)$ ,  $m_y(t)$  и корреляционные функции  $K_l(t_1, t_2)$ ,  $K_y(t_1, t_2)$ . Займемся определением статистических характеристик помехи  $m_n(t)$ ,  $K_n(t_1, t_2)$ . Для стационарных систем при приведении помехи  $n(t)$  к выходу системы ( $N(t) = \int_0^t \omega_\xi(t, \xi) n(\xi) d\xi$ ) среднее значение стационарной помехи и корреляционная функция определяются в виде:

$$m_N = m_y - \int_0^\infty \omega(\xi) m_l(\xi) d\xi;$$

$$K_N(\tau) = K_y(\tau) - \int_0^\infty \int_0^\infty \omega(\xi) \omega(\eta) K_l(\tau + \xi - \eta) d\xi d\eta;$$

а спектральная плотность –

$$S_N(\omega) = S_y(\omega) - |W(j\omega)|^2 S_l(\omega),$$

где  $W(j\omega)$  – частотная характеристика системы, соответствующая импульсной переходной функции  $\omega(\tau)$ .

При приведении помехи к выходу структурная схема имеет вид приведенный на рис. 3.

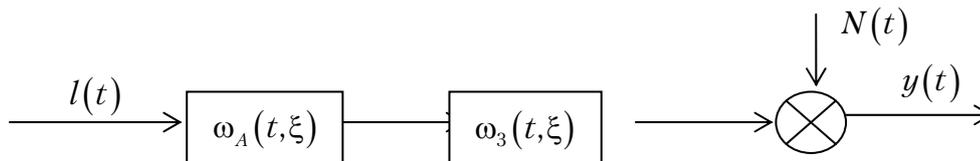


Рис.3. Преобразованная структурная схема

Здесь

$$K_N(t_1, t_2) = K_y(t_1, t_2) - \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \omega(t_1, \xi) \omega(t_2, \eta) K_l(\xi, \eta) d\xi d\eta;$$

для отыскания корреляционной функции помехи, приведенной к выходу системы, знания  $\omega_A(t, \xi)$ ,  $\omega_B(t, \xi)$ ,  $\omega_C(t, \xi)$  не требуется.

Часто возникает задача структурной локализации помехи. Она сводится к отысканию импульсных переходных функций  $\omega_A(t, \xi)$  и  $\omega_B(t, \xi)$  звеньев системы: требуется определить такую функцию  $\omega_A(t, \xi)$  части функционирующей системы, которая максимально подавляет помеху, а также функцию  $\omega_B(t, \xi)$ , которая, наоборот, максимально пропускает ее. Структурная локализация помехи возможна на основании последовательного переноса  $N(t)$  через звенья  $\omega_{B_i}(t, \xi)$  системы против хода сигнала ошибки, определяя характеристики помехи в каждой узловой точке структурной схемы исследуемой системы. Необходимо исходить из априорных данных о системе, задаваясь импульсными переходными функциями  $\omega_{A_i}(t, \xi)$ ,  $\omega_{B_i}(t, \xi)$  ее звеньев, сохраняя условия:

$$\omega_3(t, \xi) = \omega_B(t, \xi) + \int_{\xi}^t \int_u^t \omega_B(t, \eta) \omega_{AC}(\eta, u) \omega_3(u, \xi) d\eta du ;$$

$$\omega_{AC}(t, \xi) = \int_{\xi}^t \omega_A(t, \eta) \omega_C(\eta, \xi) d\eta \quad \forall i .$$

Проиллюстрируем определение статистических характеристик помехи  $n(t)$  в узловой точке структурной схемы (рис. 4).

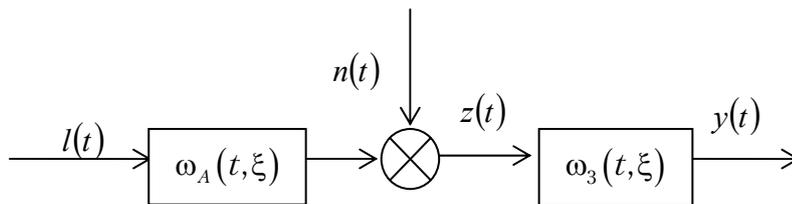


Рис. 4. К определению статистических характеристик помехи

Для установившегося режима системы с постоянными параметрами и стационарными внутренними помехами справедливо:

$$m_n = \frac{m_y}{W_3(j0)} - W_A(j0) m_i ;$$

$$S_n(\omega) = \frac{S_y(\omega)}{|W_3(j\omega)|^2} - |W_A(j\omega)|^2 S_i(\omega) ,$$

$S_n(\omega)$  – спектральная плотность помехи.

Таким образом, алгоритм для определения характеристик помехи сведется к определению из уравнений динамики передаточных функций

$$W_{xy_1}(p), W_{xy_2}(p), W_{xy_3}(p)$$

и спектральной плотности помехи

$$S_n(\omega) = \frac{S_{y_i}(\omega)}{|W_{3_i}(j\omega)|^2} - |W_{A_i}(j\omega)|^2 S_{xx}(\omega)$$

(при изменении узловых точек).

Приведенные методики прошли положительную апробацию при имитационном моделировании и разработке многомерных, многосвязных, многокритериальных систем для подготовки операторов эргатических систем [4...6].

## Список литературы

1. Будылина, Е.А. Моделирование с позиций управления в технических системах / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 138–142.
2. Гарькина, И.А. Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Пылайкин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 1 (40). – С. 113–120.
3. Гарькина, И.А. Системный подход к идентификации и управлению качеством, пример реализации / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Н.К. Юрков // Проектирование и технология электронных средств. – 2009. – № 4. – С. 41–46.
4. Гарькина, И.А. Формализованная оценка качества сложных систем: состояние и перспективы / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2. – С. 34–37.
5. Данилов, А.М. Методологические принципы организации многопоточной обработки данных с распараллеливанием вычислительных процессов / А.М. Данилов, Э.В. Лапшин, Г.Г. Беликов, В.Б. Лебедев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 26–34.
6. Гарькина, И.А. Управление качеством динамической системы: селекция информативных сигналов / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, О.А. Хнаев // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1. – С. 137–141.

## References

1. Budylyna, E.A. Simulation management positions in technical systems / E.A. Budylyna, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 2. – P. 138–142.
2. Garkina, I.A. Transportnye human–machine system: information model and control / I.A. Garkina, A.M. Danilov, S.A. Pylaykin // The world of transport and technological machines. – 2013. – № 1 (40). – P. 113–120.
3. Garkina, I.A. Systematic approach to the identification and quality management / I.A. Garkina, A.M. Danilov, N.K. Jurkov // Example of design and technology of electronic means. – 2009. – № 4. – P. 41–46.
4. Garkina, I.A. Formal evaluation of the quality of complex systems: status and prospects / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2012. – № 2. – P. 34–37.
5. Danilov, A.M. Methodological principles of multi–threaded data processing parallelization of computing processes / A.M. Danilov, E.V. Lapshin, G.G. Belikov, V.B. Lebedev // Proceedings of the higher educational institutions. Volga region. Technical sciences. – 2011. – № 4. – P. 26–34.
6. Garkina, I.A. Quality control of a dynamic system: selection of informative signals / I.A. Garkina, A.M. Danilov, O.A. Hnaev // Reregional architecture and engineering. – 2013. – № 1. – P. 137–141.

*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

**Титова Елена Ивановна**,  
кандидат педагогических наук, доцент  
кафедры «Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Мартынова Анастасия Дмитриевна**,  
студентка

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

**Titova Elena Ivanovna**,  
Candidat of Pedagogical Science, Associate  
Professor of the department «Mathematics  
and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Martynova Anastasya Dmitrievna**,  
Student

## МОДУЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ: СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Е.И. Титова, А.Д. Мартынова

Определены педагогические условия систематизации математических знаний в рамках модульного обучения. Раскрыта сущность каждого условия, определяющего эффективность его использования для систематизации математических знаний. Приводятся результаты реализации каждого из условий на примере изучения математики в строительном вузе.

*Ключевые слова: модульное обучение, систематизация знаний, математика в строительном вузе*

## MODULAR TEACHING AT A CONSTRUCTION UNIVERSITY: SYSTEMATIZATION OF MATHEMATICAL KNOWLEDGE

E.I. Titova, A.D. Martynova

Pedagogical conditions of mathematical knowledge systematization as part of modular teaching are determined. The essence of each condition is specified and the efficiency of its usage is shown. The results of each condition put into practice are given and they demonstrate how mathematics is taught at a construction university.

*Keywords: modular teaching, systematization of knowledge, mathematics at a construction university*

Подготовка высококвалифицированных специалистов невозможна без разработки современных технологий обучения; это относится практически ко всем отраслям, в том числе и строительной. Рассмотрим педагогические условия, выполнение которых в рамках модульной технологии обучения способствует формированию прочной системы математических знаний у будущих строителей. Ниже приведены основные из них.

*Структурирование изучаемого материала с поэтапным включением учебных элементов в структуру модулей.* Здесь определяются особенности содержания, организационных форм и методов. Обучение строится по функциональным узлам-модулям. В них входят целевой план действий, банк информации, методическое руководство по достижению дидактических целей (изучение, закрепление, применение). Внутри модулей учебный материал структурируется в виде системы учебных элементов. Из модулей конструируется курс математики. Реализация данного условия

предполагает рассмотрение учебного материала в рамках каждого модуля как единой целостной системы, направленной на достижение поставленной дидактической цели.

Приведем пример модуля «Дифференциальные уравнения», разделенного на конкретные темы, каждая из которых содержит свою дидактическую цель (рис. 1).



Рис. 1

*Вариативность форм и методов обучения.* Данное условие обеспечивает творческую активность и инициативу студентов в учебном процессе. Это требует такого построения модуля, при котором обеспечивается возможность гибкого соотношения используемого методического обеспечения (учебной цели каждой темы модуля, информационного и технологического содержания темы; перечня необходимых инструментов, приспособлений и технологического оборудования; учебных и рабочих материалов, дидактического материала по теме и методических рекомендаций по организации практической работы студентов) и характера изучаемого содержания обучения, с одной стороны, и индивидуально-типологических характеристик личности (темперамент, характер, воля, эмоции) студентов – с другой. В идеале каждый студент сможет работать в соответствии с собственной индивидуальной траекторией.

Так, например, первые практические занятия в рамках того или иного модуля (после лекции, прочитанной по данному модулю) целесообразно проводить в групповой форме (по 4–5 человек). Выбирается лидер группы. Каждая группа получает свое задание, происходит коллективная работа по решению проблемы. Возникает активное общение, повышается продуктивность совместной деятельности, у студентов появляется возможность лучше разобраться в изучаемом материале в процессе группового обсуждения возникающих трудностей.

На следующем этапе для достижения максимальной активности всех студентов в ходе практического занятия целесообразно использовать принцип «круглого стола», обеспечивающий паритетность отношений преподавателя и студентов, когда ни преподаватель, ни кто-либо из студентов психологически не доминирует над аудиторией.

Проиллюстрируем организацию обучения на примере практического занятия по теме: «Классическое определение вероятностей. Элементы комбинаторики» (модуль «Теория вероятностей»). Студенты и преподаватель организуют круглый стол. Они уже побывали на лекции и предварительно ознакомились с данной темой.

Преподаватель объявляет тему занятия и начинает с формулировок главных определений: классическое определение вероятностей, перестановка, размещение, сочетание, формулы их подсчета. Затем сам приводит простой пример задачи на использование классического определения вероятностей: «В урне находятся 10 шаров, из них 5 зеленых, 2 синих, 3 желтых. Из урны вынимается один шар. Требуется определить вероятность того, что он желтый».

Разбирается задача: событие, вероятность которого нужно найти, заключается в извлечении желтого шара. Всего в урне 10 шаров, значит, число всех равновероятных исходов опыта равно 10. Число элементарных исходов, благоприятствующих событию, равно 3, так как имеется всего 3 желтых шара. По классическому определению вероятностей определяется отношение  $3/10$ ; таким образом, вероятность данного события равна 0,3. Затем по кругу каждый студент приводит свой подобный пример, который подвергается коллективному анализу.

Далее студенты делятся на группы по 4–5 человек и им выдаются карточки, где в произвольном порядке даны задачи на все формулы раздела «Комбинаторика» (пример карточки представлен на рис.2).

#### Вариант №1

1. Из букв слова «событие», составленного из разрезной азбуки, извлекается наудачу и складываются друг за другом в порядке их извлечения 3 карточки. Какова вероятность получения слова «быт»?
2. В цветочном киоске 7 видов цветов, наудачу выбирается букет из 3 цветов. Какова вероятность, что все цветы разные?
3. Сколькими различными способами могут разместиться на скамейке 5 человек?
4. На пяти одинаковых карточках написаны буквы: на двух карточках «л», на остальных трех «и». Выкладывают наудачу эти карточки в ряд. Какова вероятность того, что при этом получится слово лилин?

Рис. 2

Затем все группы обмениваются решениями и проверяют их друг у друга, преподаватель же консультирует и указывает, в случае необходимости, правильные ответы. В процессе дискуссии выявляются ошибки (выясняется, в чем они заключались и почему были сделаны). В конце занятия преподаватель отвечает на возникшие у студентов вопросы и задает домашнее задание.

Собственный опыт работы подтвердил возможность существенной интенсификации систематизации математических знаний за счет разностороннего анализа ситуаций.

*Формирование ценностного отношения к знаниям.* Условие требует осознания студентами близких, средних и отдаленных стимулов учения. Реализация его означает организацию такого управления учебным процессом, при котором учащиеся понимают и осознают цели (промежуточные и конечные) учения. Цели выступают в

качестве основных значимых результатов деятельности в модульном обучении (должны осознаваться учащимися как перспективы познавательной и практической деятельности). При изучении математики модулями мы должны показать, что изучение одного из них обязательно отражается на изучении другого. (Например, изучение интегралов необходимо для решения дифференциальных уравнений; знания по теме производной необходимы как в модуле интегралов, так и модуле функций нескольких переменных и т. д.)

Данное условие также предполагает такую организацию учебного процесса, когда обучающиеся приобретают знания в неразрывной связи с умениями в ходе самостоятельного решения задач, проявляя инициативу, находчивость, способность использовать имеющиеся знания в новых ситуациях. При изучении модуля «Дифференциальные уравнения» определяется существование дифференциальных уравнений Лагранжа и Клеро; студенты изучают их самостоятельно, после предварительной консультации преподавателя. Затем, включив эти уравнения в самостоятельную работу в форме необязательной части, можно увидеть, насколько студенты справились с усвоением материала.

*Перенос знаний по данному модулю в другие модули и разделы.* Предполагается предоставление в процессе обучения возможности для осуществления обучающимися некоторых обобщений, выходящих за пределы темы, раздела или курса по дисциплине и показывающих некоторые дальнейшие перспективы развития соответствующего материала. При этом студент может изначально недостаточно осознавать объясняемую идею, но он включает ее в собственное поле знаний (первый шаг к пониманию). Другими словами, реализация данного условия обеспечивает рассмотрение материала учащимися как принципиально незамкнутого, допускающего восполнение и расширение за счет целесообразной актуализации его изначально скрытого содержательного потенциала.

*Контроль за качеством усвоения содержания.* Предполагается оптимальная система контроля знаний, основанная на активизации обучающихся в педагогическом процессе. Развитие управления обучением со стороны педагога тесно взаимосвязано с развитием самоуправления своей учебной деятельностью со стороны обучающихся. Осуществляется коррекция математических знаний на определенном этапе, и в результате достигается высокое качество математического образования. Это относится к подготовке как к базовым, так и к дополнительным занятиям, а также к организации текущей и итоговой отчетности по пройденным темам модуля.

Оценка работы студентов является достаточно многосторонней. Предположим, за модуль «Ряды» студент может получить максимум 38 баллов, из них 10 – за «посещение», 13 – за «активность», 3 – за «творческие работы» и 12 – за «контрольную аттестацию». Всего в модуле проводится 20 занятий, за посещение каждого начисляется по 0,5 балла. Если по данной теме студент делал доклад, писал реферат или решал задачи повышенной сложности, то в зависимости от качества и сложности его подготовки мы по критерию «творческие работы» выставляем от 0,5 до 3 баллов.

Рассмотрим, например, как оценивается такой показатель, как «активность». В структуру модуля «Ряды» входят следующие учебные элементы (УЭ), выделенные нами исходя из наличия практических занятий. Выделим их и опишем, что должны знать обучающиеся: УЭ0 – входной контроль (должны уметь решать все виды пределов, знать понятие «последовательность», уметь решать задачи на геометрическую и арифметическую прогрессию); УЭ1 – понятие ряда. Ряды с положительными членами (знать четкое определение ряда, уметь его записывать в виде формул и последовательностей, знать отличительные особенности положительного ряда, выучить необходимый признак сходимости данных рядов); УЭ2 – достаточные признаки сходимости сравнения и Даламбера (знать определение и основные выводы двух признаков сравнения и признака Даламбера, уметь применять их к решению задач); УЭ3 – достаточные признаки сходимости (радикальный и интегральный Коши; знать определение и выводы данных достаточных признаков сходимости, уметь решать задачи с их использованием); УЭ4 – самостоятельная работа. Решение задач на

признаки сходимости (умение правильно подобрать нужный признак сходимости для данного ряда, делать верный вывод о его поведении, не забывать проверять необходимое условие сходимости); УЭ5 – знакопеременные ряды (знать четкое определение и отличительные особенности данных рядов, выучить и уметь применять для решения задач признак Лейбница); УЭ6 – степенные ряды (знать четкое определение и отличительные особенности данных рядов, выучить формулы радиуса сходимости, уметь решать задачи на степенные ряды с применением уже изученного ранее); УЭ7 – решение задач (умение применять признак Лейбница, находить радиус и интервал сходимости ряда); УЭ8 – функциональные ряды (знать определение, виды, особенности функциональных рядов); УЭ9 – самостоятельная работа. Решение задач, умение определять вид ряда и решать с ним поставленные задачи; УЭ10 – ряды Фурье (знать определение данных рядов, их четное и нечетное разложение на разных периодах, уметь решать задачи); УЭ11 – выходной контроль в виде письменной контрольной работы (при решении контрольной работы необходимо показать всю систему полученных знаний и умений по данному модулю). Итог изучения каждого УЭ соответствует определенному количеству баллов и заносится в индивидуальную таблицу, где указываются максимальный балл и оценка преподавателя. Первые 10 УЭ оцениваются в 1 балл, УЭ4 и УЭ9, содержащие самостоятельные работы, – в 1,75 балла. УЭ11 включает в себя контрольную аттестацию и оценивается в минимум 6 – максимум 12 баллов.

Реализация выделенных педагогических условий была апробирована среди обучающихся первых двух курсов на занятиях по математике в строительном вузе. Осуществлялось выполнение контрольного теста в группах, где были реализованы данные условия, и в группах, где обучение происходило традиционно. Оказалось, что для первой группы учащихся процент выполненных правильно заданий был выше и они не вызывали особых затруднений. Для второй группы решение поставленных задач вызывало сложности, в особенности задач, где требовалось применение ранее изученного материала. Таким образом, выполнение выделенных педагогических условий в модульном обучении обеспечивает формирование прочной системы знаний у студентов. Это предполагает последовательность изучения материала в виде сжатой с логической точки зрения структурной системы, исходя из взаимосвязей между отдельными вопросами и разделами курса, а также с учетом междисциплинарных связей. Все это подтверждает важность выполнения указанных педагогических условий.

#### Список литературы

1. Буркина, В.А. Системный подход при реализации модульного обучения в вузе / В.А. Буркина, Е.И. Титова // Молодой ученый. – 2014. – № 5 (64). – С. 491–492.
2. Гарькина, И.А. Системный подход к повышению качества образования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. Серия: Педагогика. Психология. Социальная работа. Ювенология. Социокинетика. – 2013. – Т. 19. – № 4. – С. 4–7.
3. Гарькина, И.А. Специальные разделы высшей математики (учебное пособие (уровень магистратуры)) / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 11–1. – С. 89.
4. Данилов, А.М. Образовательная система с позиций идентификации и управления / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2 – С. 143–146.
5. Ермолаева, Е.И. Особенности реализации модульного обучения в системе высшего образования / Е.И. Ермолаева // В мире научных открытий. – 2010. – № 4–5. – С. 109–110.
6. Ермолаева, Е.И. О важности фундаментальной математической подготовки студентов по направлению «Строительство» / Е.И. Ермолаева, Е.И. Куимова // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Беллинского. – 2011. – № 26. – С. 463–467.

7. Жидкова, А.Е. Рекомендации для преподавателей по использованию технологии модульного обучения / А.Е. Жидкова, Е.И. Титова // Молодой ученый. – 2014. – № 2 (61). – С. 756–757.

#### References

1. Burkina, V.A. System Approach to the Realization of Modular Teaching at a University / V.A. Burkina, E.I. Titova // Young Scientist. – 2014. – № 5 (64). – P. 491–492.
2. Garkina, I.A. System Approach to the Better Quality of Education / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Newsletter of Kostroma State University named after Nekrasov N.A. Section: Pedagogy. Psychology. Social Work. Youth Studies. – 2013. – V. 19. – № 4. – P. 4–7.
3. Garkina, I.A. Special Sections of Advanced Maths (Textbook (Master level)) / I.A. Garkina, A.M. Danilov // International Magazine of Experimental Education. – 2014. – № 11–1. – P. 89.
4. Danilov, A.M. Educational System from the point of View of Identification and Management / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional Architecture and Construction. – 2013. – № 2. – P. 143–146.
5. Ermolaeva, E.I. Special Aspects of Realization of Modular Teaching in the System of Higher Education / E.I. Ermolaeva // In the World of Scientific Discoveries. – 2010. – № 4–5. – P. 109–110.
6. Ermolaeva, E.I. About the Importance of Students' Fundamental Mathematical Training in the Course «Construction» / E.I. Ermolaeva, E.I. Kuimova // Newsletter of Penza State Pedagogical University named after Belinsky V.G. – 2011. – № 26. – P. 463–467.
7. Zhidkova, A.E. Recommendations for Teachers on the Technology of Modular Teaching / A.E. Zhidkova, E.I. Titova // Young Scientist. – 2014. – № 2 (61). – P. 756–757.

# АРХИТЕКТУРА

# ARCHITECTURE

УДК 728.1

*Национальный университет архитектуры и строительства Армении*

0009, Республика Армения, г. Ереван,  
ул. Тeryан, д.105  
тел.: (374) 94400117

**Енгоян Анна Робертовна,**

кандидат архитектуры, доцент кафедры  
«Архитектурное проектирование и дизайн  
архитектурной среды»  
E-mail: conceptproyekt@rambler.ru

**Азатян Карен Рубенович,**

кандидат архитектуры, доцент кафедры  
«Архитектурное проектирование и дизайн  
архитектурной среды»  
E-mail: karenazatyan77@gmail.com

*National University of Architecture and Construction of Armenia*

0009, Armenia, Yerevan, 105, Teryan St.,  
tel.: (374) 94400117

**Yengoyan Anna Robert,**

Candidate of Architecture, Associate Professor of  
the department «Architectural Drafting and  
Design of Architectural Environment»  
E-mail: conceptproyekt@rambler.ru

**Azatyan Karen Ruben,**

Candidate of Architecture, Associate Professor of  
the department «Architectural Drafting and  
Design of Architectural Environment»  
E-mail: karenazatyan77@gmail.com

## ПУТИ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО ДОСТУПНОГО ЖИЛИЩА В АРМЕНИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

А.Р. Енгоян, К.Р. Азатян

Представлены некоторые проблемы архитектурного формообразования социально доступного жилья в Армении с учетом возможных путей развития массового жилищного строительства в республике. Игнорирование подхода типового проектирования и индивидуализация проектных решений на современном этапе привели к отказу от прогрессивных основ серийного проектирования. Обозначив главные преимущества жилищной архитектуры прошлого, можно наметить основные направления ее последующего развития.

*Ключевые слова: архитектура, жилище, градостроительный, опыт, массовое, доступное, серийное проектирование, застройка, процесс, развитие*

## WAYS OF SOCIAL HOUSING DEVELOPMENT IN ARMENIA AT THE PRESENT STAGE

A.R. Yengoyan, K.R. Azatyan

The article discusses some problems of architectural formation of social housing in Armenia, in terms of possible ways of mass housing development. Ignoring the model design approach and individualization design solutions at the same time have led to the abandonment of progressive foundations of serial design. This paper is dedicated to the identification of the main advantages of residential architecture in past with a proposal of major directions of further development.

*Keywords: architecture, housing, urban, experience, mass, affordable, serial, design, development, process*

Создание крепкой семьи – основы развития общества, страны и государства – невозможно без организации жилища. Обеспеченность жильем – одна из важнейших форм существования и развития социума. Целью каждого государства является решение жилищной проблемы. Несмотря на огромные масштабы жилищного строительства в Армении, эта проблема и ныне остается актуальной.

В республике, по целевым программам, к 2000 году намечалось построить 26 млн кв. м общей жилой площади. Разрушительное землетрясение в Армении в 1988 году, в результате которого потери жилого фонда составили 8,9 млн. кв. м, усугубило положение и сделало проблему жилья еще более острой: планируемая площадь в 26 млн кв. м в 1989 году увеличилась до 35 млн кв. м. Уже прошло 25 лет, однако эти проблемы не разрешены. Более 5000 семей в зоне бедствия все еще не имеют собственного жилья. А поляризация общества, возникшая в результате изменений социально-экономических условий, оставила, в свою очередь, десятки тысяч семей без постоянного жилья. Несмотря на огромную эмиграцию из страны, проблема все же несколько не преодолена. Более того, развернутые на Ближнем Востоке военные действия привели к иммиграции тысяч семей из диаспоры, обеспечение жильем которых также является важной задачей государства [1, 2].

Проблема эта не только социально-экономическая и общественно-политическая, но и нравственно-психологическая. Проблема обеспечения стала особенно острой в новых социально-экономических условиях, при изменениях формы собственности и переходе к рыночной экономике в республике, экономический потенциал которой за последние 20 лет резко снизился, а строительный комплекс оказался разрушенным. Государство, однако, обязано нести на себе огромное бремя ответственности за обеспечение жилого фонда. Единственным регионом республики, в котором еще развивается жилищное строительство на основе государственных средств, пока что остается зона землетрясения, но темпы и объемы строительства никак нельзя считать достаточными, причем сроки выполнения работ постоянно отодвигаются на отдаленные времена [3].

Для решения этой проблемы необходимы целевые государственные программы, в которых должны быть определены возможные источники финансирования, основные направления развития, развитие строительной базы, выбор рациональных архитектурно-планировочных решений и конструктивных систем, формы организации застройки, условия снижения стоимости строительства и т. д. Предпосылками и необходимыми условиями решения проблемы доступного жилья в республике, безусловно, следует считать: доступность и относительную дешевизну жилых домов, простоту и быстроту их возведения, экономичность строительства в целом и комплексность застройки [2].

Принципы типового проектирования в процессе массового жилищного строительства имели свои недостатки, которые наибольшим образом отражались в проблемах художественного облика застройки. Отказавшись от типового проектирования и заводского домостроения, мы пошли по пути индивидуализации проектных решений, но в то же время отказались от прогрессивных основ серийного проектирования. В условиях индивидуального подхода и штучного проектирования, широко применяемых в настоящем, утрачены не только вопросы экономической целесообразности, но также принципы градостроительно-ансамблевого и композиционного формообразования жилой застройки. Это отражается в многочисленных проблемах архитектуры жилья на современном этапе.

Такие основополагающие начала типового проектирования, как унификация, стандартизация и повторяемость, должны найти отражение и при индивидуальном проектировании, если речь идет об осуществлении массовой жилой застройки. Независимо от метода проектирования, при разработке типов домов в их решениях должны быть заложены градостроительно-ансамблевые и композиционные качества, допускающие выбор наиболее оптимальных решений застройки в зависимости от конкретных условий строительства с учетом особенностей градостроительной и окружающей среды. Для развития массового строительства необходимо перейти от штучного про-

ектирования и строительства к их серийности, использованию элементов заводской заготовки, механизации и индустриализации строительных работ. Имеются в виду не догматические методы сплошной типизации, разработки глобальных серий типовых проектов, опирающихся на громоздкий и малоподвижный механизм домостроения с большим расходом материалов. Речь идет только об использовании прогрессивных принципов опыта прошлого в поисках новых форм организации жилища, отвечающих социальным требованиям и новым условиям строительства [3, 4, 5].

Основой развития массового жилища является комплексность застройки. Она должна вестись жилыми комплексами на основе сокращенных серий проектов индивидуального проектирования с ограниченным количеством исходных элементов, дифференцированных к различным условиям строительства. Переход от типового к индивидуальному проектированию раскрывает более широкие возможности индивидуализации решений типов домов и застройки с учетом конкретного месторасположения, характера окружающей среды и климатических факторов. Эти условия во многом и определяют характер функциональных, санитарно-гигиенических, архитектурно-художественных и экономических требований к формированию архитектуры жилища [5, 6].

Следует отметить, что опыт разработки и применения сокращенных серий проектов в республике имеется, где наглядно отображаются преимущества подхода в самых разных направлениях формирования жилой среды и застройки. На этих принципах удалось осуществить создание жилых кварталов, комплексов, районов, индивидуальных по облику и своеобразных по архитектуре застройки, обусловленных конкретным месторасположением и “средовым” подходом решений (рис. 1, 2). Примечательно, что жилые комплексы на основе сокращенных серий проектов возводились не только в период массового строительства, но также в течение последующих лет. Такой подход использовался при строительстве жилого квартала “Арцах” в Степанакерте, в столице (рис. 3). Эти принципы и развиваемые прогрессивные направления жилищной архитектуры, с переработкой некоторых положений, могут применяться и в настоящем [7].



Рис. 1. Ереван. Жилой комплекс “Молодежный” (1970-е годы).

Застройка осуществлена на основе четырех типов исходных элементов незаконченной структуры с унификацией архитектурно-планировочных и конструктивных решений



Рис. 2. Ереван. Экспериментальный жилой район “Аван-Ариндж” (1980-е годы).

Номенклатура серии проектов состояла из трех исходных типов блок-домов законченной структуры

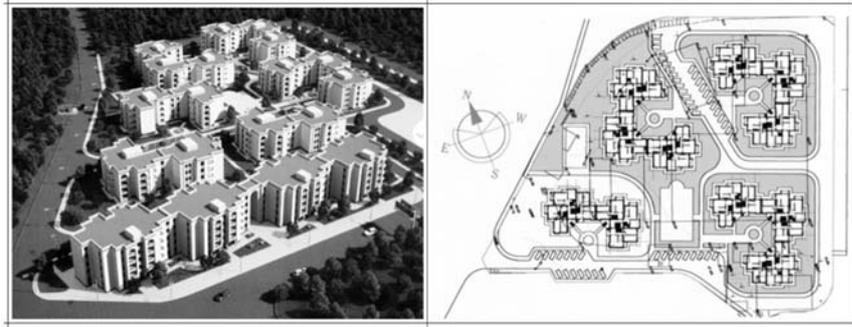


Рис. 3. Степанакерт. Жилой квартал “Арцах” (2000-е годы).

Применена серия проектов ограниченной номенклатуры, наделенная широкими композиционными возможностями

Очевидным является то, что для решения проблемы необходимы более современные методы проектирования и строительства, развитие новых направлений в решении архитектурных и конструктивных задач, основанные на научно-исследовательских и проектно-экспериментальных разработках, отражающих не день вчерашний, а день грядущий. Необходимы поиски принципиально новых архитектурно-планировочных и конструктивных решений типов домов и эффективных систем застройки, отвечающих комплексу градостроительных, типологических и социальных требований, а также соответствующих требованиям сейсмостойкости и с учетом местных особенностей [5, 6].

Экономичность, простота и быстрота возведения зданий несовместимы с традиционными методами строительства каменных кладок, наименее сейсмостойких и требующих наибольших затрат на их усиление железобетоном. В сейсмически активных районах всего мира строительство идет в направлении максимального облегчения веса зданий с использованием гибких легких конструкций. Мы же идем в консервативном направлении, утяжеляя вес зданий и используя жесткие конструктивные системы. Неудивительно, что даже при сильных землетрясениях, в первом случае жертв оказывается значительно меньше, чем во втором случае. Примечательно также то обстоятельство, что современные каменные здания на самом деле не являются сооружениями с системой несущих каменных стен. Каменные стены настолько насыщаются железобетоном в виде вертикальных и горизонтальных включений, антисейсмических поясов, плит, подфундаментных железобетонных оснований, что здание из каменных кладок превращается в жесткую железобетонную каркасную систему, в которой кладка практически несет не несущие, а ограждающие функции. При этом не особенно хорошо выполняет она и теплозащитные функции, иначе пришлось бы увеличить толщину ограждающих стен от 40-50 см до 70-80 см [2].

В результате землетрясения 1988 года массовым разрушениям подверглись также каркасно-панельные дома III-й серии. И не потому, что здания с несущим каркасом менее сейсмостойкие, а потому что была искажена сама сущность каркасной конструкции. Железобетонные каркасы относятся к гибким конструктивным системам, для которых допустимо определенное раскачивание, следовательно, требуется использование легких ограждающих конструкций и уменьшение удельной массы здания. Между тем в этих домах при сборном каркасе тяжелые навесные панели превратили конструкцию в жесткую систему, при которой резко сократилась сопротивляемость инерционным моментам. При этом низкое качество строительных работ привело к снижению податливости соединений конструктивных элементов и устойчивости конструкции в целом [3].

Однако следует отметить, что это не довод к отказу от использования каркасных систем в массовом жилищном строительстве, и тем более монолитных. Как показывает мировой опыт, именно здания с монолитным железобетонным каркасом, в отличие от каменных, подвергающихся повсеместным разрушениям, с успехом противо-

стоят самым разрушительным землетрясениям и относятся к наиболее сейсмостойким. В случае применения легких материалов, общий вес каркасных зданий в 2-3 раза снижается по сравнению с каменными, соответственно уменьшается и значение расчетных сейсмических сил. По сравнению с каменными зданиями в лучшей степени противостоят сейсмическим нагрузкам здания с монолитными несущими железобетонными стенами небольшой толщины, с использованием щитовых переставных или скользящих опалубок для их возведения [8].

В мире произошел переворот в жилищном строительстве, и ныне жилище уже не строится долговечным, а возводится с учетом его морального и физического износа максимум на 50...60 лет с широким использованием легких конструкций и материалов. Так, например в США здания до 4-х этажей практически строятся только на основе легких деревянных каркасов с деревянными же междуэтажными перекрытиями и ограждениями на щитовой основе двухслойного типа с воздушной прослойкой. Для внешней облицовки используется кирпич, обшивки из дерева, пластика, алюминия и других легких материалов. При необходимости перекрытия и ограждения утепляют минеральной ватой, жидким пенопластом и т.п. Обшивка стен может меняться за 2-3 дня, сама же застройка в виде отдельного комплекса осуществляется за 3-4 месяца. Здания от 4-х этажей и выше строятся главным образом на основе легких железобетонных монолитных каркасов с использованием в отдельных случаях металлических включений. Ограждение стен в основном выполняется из жесткого пенопласта, имитирующего любой вид кладки. На наружные поверхности наносится слой водоустойчивого полимерцементного раствора различной окраски. Жесткий пенопласт легко разрезается на месте в виде блоков, их «кладка» осуществляется на клеевой основе [8].

С учетом зарубежного опыта и в наших условиях должны произойти качественные изменения и модификации строительной и материально-технической базы. Вместо тяжелых конструкций должны найти применение новые конструктивные решения с широким использованием легкого бетона, пенобетона, мелких изделий заводской заготовки, с использованием преимуществ и принципов индустриализации. При этом основной упор необходимо делать на собственное производство и местные строительные материалы, а не на привозные дорогостоящие материалы. Должны найти применение легкие мелкоштучные элементы из перлитобетона, керамзитобетона, пенобетона, производство которых возможно наладить в республике.

Обсуждение проблем путей развития социальнодоступного жилища в Армении дает возможность выявить главные направления архитектурного формообразования данного процесса.

- Изменение методики проектирования с приближением типового и индивидуального проектирования друг к другу, с использованием достоинств каждого из них.
- Разработка серий проектов с сокращенной номенклатурой и ограниченным количеством исходных элементов застройки, наделенных градостроительно-композиционными качествами и способностями создавать различные объемно-пространственные решения застройки.
- Разработка и применение дифференцированных по условиям строительства серий проектов ограниченного использования разной этажности и объемно-планировочных решений с внедрением новых эффективных типов домов и видов застройки.
- Внедрение в разработку проектов застройки принципа «от градостроительной идеи к разработке элементов жилой структуры», в осуществлении «средового» подхода проектирования.
- Использование конструктивных систем, обеспечивающих простоту и быстроту возведения, относительную дешевизну и свободу в выборе архитектурных решений, вариативность объемной и фасадной пластики застройки.

Развитие массового доступного жилища важно направить по правильному руслу, при наиболее эффективной организационной форме сочетания научной, проектной и производственной деятельности и развития новых направлений в проектировании и строительстве. Это одна из важнейших задач в процессе становления молодого госу-

дарства. Представляется, что эта проблема прежде всего должна быть в поле зрения правительства и соответствующих ведомств.

#### Список литературы

1. Григорян, А.Г. Архитектура Советской Армении / А.Г. Григорян, М.Л. Товмасын. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
2. Рашидян, Г.Г. Типовое и индивидуальное проектирование жилища в прошлом и настоящем в свете решения задач развития доступного жилища в будущем / Г.Г. Рашидян // Бюллетень строителей Армении. – Ереван, 1999. – № 5 (спец. вып.). – С. 1–3.
3. Рашидян, Г.Г. Развитие архитектуры массового жилища Армении и задачи современного этапа: монография / Г.Г. Рашидян. – Ереван, 1999. – 88 с.
4. Адамчевска-Вейхерт, Х. Формирование жилых комплексов: пер. с польск / Х. Адамчевска-Вейхерт. – М.: Стройиздат, 1988. – 303 с.
5. Перспективы развития жилища в СССР/ ЦНИИЭП жилища. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 176 с.
6. Лисициан, М.В. Архитектурное проектирование жилых зданий / М.В. Лисициан [и др.]. – М.: Архитектура-С, 2010. – 485 с.
7. Рашидян, Г.Г. Новые формы социально-доступного жилища для условий НКР: монография / Г.Г. Рашидян. – Ереван: ЕГУАС, 2009. – 96 с.
8. Максаи, Дж. Проектирование жилых зданий: пер. с англ. / Дж. Максаи [и др.]. – М.: Стройиздат, 1979. – 487 с.

#### References

1. Grigoryan, A.H. Architecture of the Soviet Armenia / A.H. Grigoryan, M.L. Tovmasyan. – M.: Stroyizdat, 1986. – 320 p.
2. Rashidyan, G.H. Typical and custom design homes in the past and the present in the light of the decision of problems of development of affordable housing in the future / G.H. Rashidyan // Bulletin bilder union of Armenia. – Yerevan, 1999. – № 5. – P. 1–3.
3. Rashidyan, G.H. Development of architecture of mass housing in Armenia and objectives of the current stage/ G.H. Rashidya. – Yerevan: YSUAC, 1999. – 88 p.
4. Adamczewska-Wejchert, H. Formation of residential complexes: translation from polish / H.Adamczewska-Wejchert. – M.: Stroyizdat, 1988. – 303 p.
- Prospects for the development of dwellings in the USSR/ CNIIEP home. – 2-nd ed., Rev. and supplementary. – M.: Stroyizdat, 1981. – 176 с.
5. Lisitsian, M.V. Architectural design of residential buildings / M.V. Lisitsian [etc.]. – M.: Architecture-C, 2010. – 485 с.
6. Rashidyan, G.H. Новые формы социально-доступного жилища для условий НКР: научное издание/ G.H. Rashidya. – Yerevan: YSUAC, 2009. – 96 с.
7. Macsay, G. Designing of residential buildings: translation from engl. / G. Macsay [etc.]. – M.: Stroyizdat, 1979. – 487 p.

---

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 338.984

*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

**Хрусталеv Борис Борисович,**  
доктор экономических наук, профессор, зав.  
кафедрой «Экономика, организация  
и управление производством»  
E-mail: hrustalev\_bb@mail.ru

**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

**Khrustalev Boris Borisovich,**  
Doctor of Economics, Professor, Head of the  
Department «Economics, Organization and  
Management»  
E-mail: hrustalev\_bb@mail.ru

**Uchaeva Tatiana Vladimirovna,**  
Candidate of Economic Sciences, Associate  
Professor of the department «Economics,  
Organization and Management»  
E-mail: uchaevatv@mail.ru

### ВАРИАНТЫ ПОВЫШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Б.Б. Хрусталеv, Т.В. Учаева

На основе разработанной модели оценки организационно-экономического потенциала дана оценка некоторых предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области. С учетом полученных данных спрогнозировано развитие потенциала в будущем и даны рекомендации по повышению потенциала для достижения прогнозных данных.

*Ключевые слова: потенциал предприятия, оценка организационно-экономического потенциала, динамика изменения потенциала, варианты повышения потенциала, рекомендации по повышению*

### OPTIONS OF IMPROVING ORGANIZATIONAL-ECONOMIC POTENTIAL OF COMPANIES OF BUILDING MATERIALS INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF THE PENZA REGION

B.B. Hrustalev, T.V. Uchaeva

On the basis of developed evaluation model of organizational and economic potential, some construction materials industry enterprises of the Penza region were assessed. According to these results, the authors predict the development of their potential in the future and give recommendations for increasing the capacity to achieve the forecast data.

*Keywords: potential of the enterprise, the evaluation of organizational and economic potential, changes in capacity, capacity building options, recommendations for improving*

Ранее нами была разработана и предложена модель оценки организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов [1]. Модель учитывает трудовой потенциал, финансовые возможности, особенности инфраструктуры, производственной среды, информационной среды, а также маркетинговый потенциал, состояние производственного процесса, управленческий потенциал. Для количественной оценки вышеуказанных факторов, влияющих на организационно-экономический потенциал, была разработана система частных, комплексных и интегральных показателей [2].

На основе данной системы показателей была дана оценка организационно-экономического потенциала некоторых предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области.

В табл. 1 приведена обобщенная оценка организационно-экономического потенциала обследованных предприятий Пензенской области.

Т а б л и ц а 1

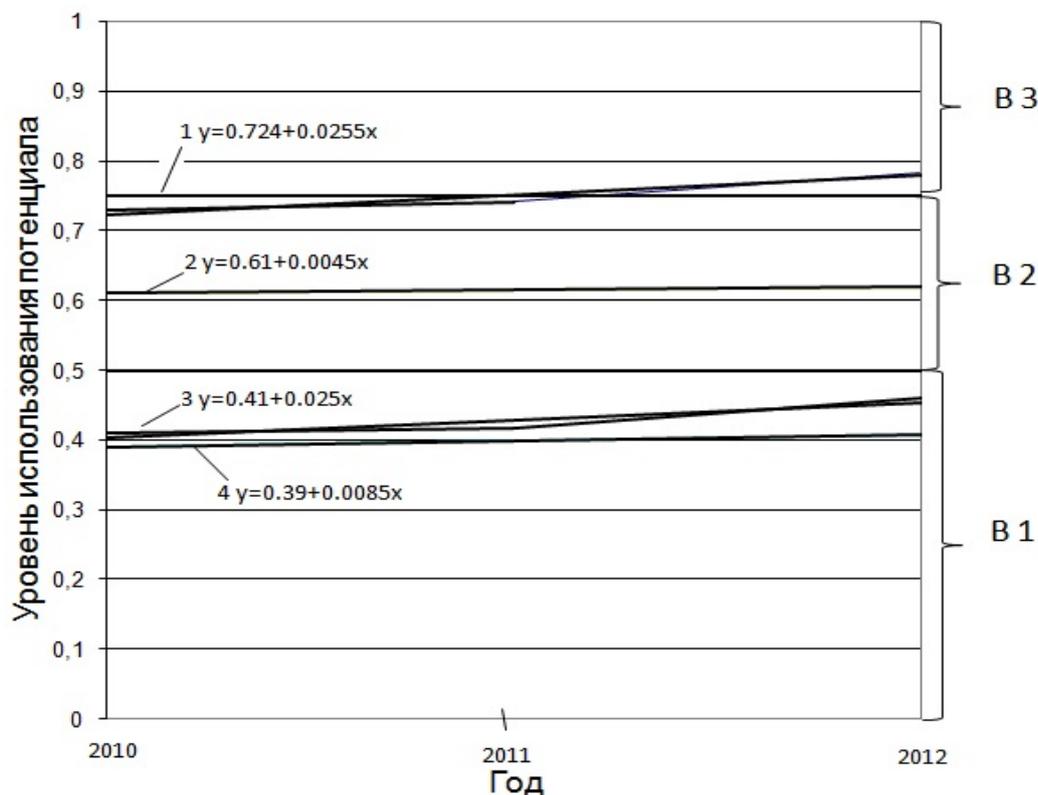
Оценка организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области

№ п/п	Наименование показателей, определяющих потенциал предприятия	Баллы/ Обобщенная оценка потенциала			
		ОАО ЖБК-1	ООО «Стеновые материалы»	ОАО «Домостроитель»	ОАО «Карьеро-Управление»
1	Профессионально-квалификационный потенциал	4/0,508	3/0,381	3/0,381	2/0,254
2	Финансовый потенциал	4/0,68	3/0,51	3/0,51	3/0,51
3	Состояние производственного процесса	4/0,664	3/0,498	4/0,664	2/0,332
4	Состояние информационной среды	3/0,201	2/0,134	2/0,134	2/0,134
5	Инфраструктура	5/0,415	2/0,166	3/0,249	2/0,166
6	Состояние производственной среды	5/0,345	2/0,138	3/0,207	2/0,138
7	Интеллектуальный потенциал	3/0,525	3/0,525	3/0,525	3/0,525
8	Маркетинговый потенциал	4/0,612	4/0,612	3/0,459	3/0,459
	Потенциал	3,95	2,352	3,129	2,059
	Использование потенциала	0,78	0,4657	0,619	0,4077

Результаты расчетов, приведенные в табл. 1, свидетельствуют, что в настоящее время предприятия промышленности строительных материалов отличаются низкой эффективностью использования потенциала. Так, если ОАО «Завод ЖБК-1» использует потенциал на 78 %, то ООО «Стеновые материалы» – только на 46,57 %, ОАО «Карьероуправление» – на 40,77 %. На рисунке приведена динамика изменения организационно-экономического потенциала обследуемых предприятий за период 2010-2012 годы.

С учетом динамики изменения организационно-экономического потенциала данных предприятий было спрогнозировано развитие потенциала предприятий на перспективу [1].

Для достижения прогнозных данных, улучшения деятельности предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области были разработаны рекомендации, содержащие различные варианты повышения потенциала.



Динамика изменения организационно-экономического потенциала некоторых предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области:

- 1 – ОАО «ЖБК-1»; 2 – ОАО «Домостроитель»; 3 – ООО «Строительные материалы»; 4 – ОАО «Карьероуправление»

Варианты повышения организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов можно представить как функцию нескольких параметров, взаимосвязь которых обеспечивает определение таких важных для организации показателей, как себестоимость, прибыль и т.д. [3]:

- параметр А – характеристика строительной продукции предприятий промышленности строительных материалов;
- параметр Б – характеристика условий функционирования предприятий промышленности строительных материалов;
- параметр В – характеристика инвестиционной привлекательности предприятий промышленности строительных материалов.

Эффективность работы предприятий основывается на выборе наиболее рациональных вариантов формирования организационно-экономического потенциала, т.е. проблема сводится к тому, что предприятие, постоянно реагируя на изменения во внешней среде, старается стабилизировать свою внутреннюю структуру за счет поэтапного изменения основных параметров (А, Б, В). В соответствии с постоянными изменениями внешней среды должно изменяться и развитие предприятий промышленности строительных материалов.

**I вариант (С1).** Изменяется параметр А при постоянных параметрах Б и В = const.

Преобразованию подвергаются параметры процесса выпускаемой продукции (стабильность и воспроизводимость), что приводит к снижению брака и себестоимости продукции. Большое влияние на деятельность предприятия оказывают внутренние факторы, такие, как компетентность руководства, оборудование, издержки и т.д.

**II вариант (С2).** Изменяется параметр Б при постоянных А и В = const.

За счет приближения предприятия к сырьевым ресурсам снижаются транспортные расходы. Осваивается новая продукция и происходит выход на новые рынки. Большое значение приобретают оснащенность транспортными средствами предприятий, их степень мобильности, развитие информационных и коммуникационных путей.

**III вариант (С3).** Изменяется параметр В при постоянных параметрах А и  $B = \text{const}$ .

Происходит пересмотр принципов внутренней организации предприятия, улучшается использование имеющихся ресурсов. Разрабатываются стратегии, направленные на существующие продукты и рынки. Целью этих стратегий является стабилизация и расширение рынка.

**IV вариант (С4).** Изменяется параметр В совместно с параметром А. Большое значение приобретают такие внутренние факторы, как эффективность оргструктуры, состояние производственного процесса (стабильность и воспроизводимость), уровень использования потенциала. Разрабатываются инновационные стратегии, связанные с реализацией вновь разработанных продуктов, связанных или не связанных с основной деятельностью на местных рынках.

Более наглядно варианты формирования организационно-экономического потенциала предприятия можно проследить в табл. 2

Т а б л и ц а 2

Варианты повышения организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов

Вариант	Условия реализации	Основные мероприятия, обеспечивающие реализацию данного варианта
С1	Изменяется параметр А, параметры В, В – const	Подвергаются преобразованию параметры производства выпускаемой продукции (стабильность и воспроизводимость); Большое значение приобретают такие внутренние факторы, как компетентность руководства, оборудование, издержки
С2	Изменяется параметр В, параметры А, В – const	Происходит выход на новые рынки, освоение новых регионов; Большое значение приобретают такие внутренние факторы, как оснащенность транспортными средствами, развитие информационных и коммуникационных путей
С3	Изменяется параметр В, параметры А, В – const	Происходит пересмотр принципов внутренней организации предприятий, лучшее использование имеющихся ресурсов; Большое значение приобретают такие внутренние факторы, как эффективность оргструктуры, степень использования потенциала; Разрабатываются стратегии, направленные на стабилизацию и укрепление существующего положения на рынке
С4	Изменяется параметр В и А, параметр В – const	Разрабатываются инновационные стратегии, связанные с реализацией вновь разработанных продуктов, связанных или не связанных с основной деятельностью на местных рынках. Большое значение приобретают такие внутренние факторы, как эффективность оргструктуры, состояние производственного процесса (стабильность и воспроизводимость), уровень использования потенциала

Изменяя один из основных параметров, можно улучшить работу предприятий промышленности строительных материалов. Наилучшим вариантом является ситуация, когда изменяются все три параметра. Это позволит предприятиям самим выбирать направление развития, опираясь лишь на свои внутренние ресурсы и возможности. Данные рекомендации могут быть использованы предприятиями других отраслей промышленности с учетом специфики их деятельности.

Список литературы

1. Хрусталеv, Б.Б. Оценка организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов на примере Пензенской области / Б.Б. Хрусталеv, Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство.– 2014. – №3(20). – С. 166–172.
2. Учаева, Т.В. Оценка факторов, влияющих на организационно-экономический потенциал предприятий промышленности строительных материалов / Т.В. Учаева // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2014. – № 10. – URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/10/6099>.
3. Хрусталеv, Б.Б. Параметры оценки деятельности промышленных предприятий строительных материалов по данным маркетинга / Б.Б.Хрусталеv, В.И.Логанина, Т.В.Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №2. – С.147–152.
4. Логанина, В.И. Формирование механизма управления потенциалом конкурентоспособности предприятий промышленности строительных материалов / В.И. Логанина, Б.Б. Хрусталеv, Т.В. Учаева // Технологии бетонов. – 2013. – №3. – С. 44–46.

References

1. Hrustalyov, B.B. Evaluation of the institutional and economic potential of industrial enterprises of building materials in the example of the Penza region / B.B. Hrustalyov, T.V. Uchaeva // Regional architecture and stroitelstvo. – 2014. – №3 (20). – P. 166–172.
2. Uchaeva, T.V. Evaluation of factors affecting the organizational and economic potential of the industry of building materials / T.V. Uchaeva // Economics and Management of innovative technologies. – 2014. – № 10. – URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/10/6099>
3. Hrustalyov, B.B. Evaluation parameters of industrial enterprises of building materials according to marketing / B.B. Hrustalev, V.I. Loganina, T.V. Uchaeva. // Regional architecture and stroitelstvo. – 2013. – №2. – P.147–152.
4. Loganina, V.I. Formation mechanism of managing the potential competitiveness of industrial enterprises of building materials / V.I. Loganina, B.B. Hrustalyov, T.V. Uchaeva // Technology betonov. – 2013. – №3. – P. 44–46.

