

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 2 раза в год

Учредитель и издатель
Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:
А.М. Данилов (главный редактор)
Г.Г. Болдырев, Е.В. Королев
(заместители главного редактора)
И.А. Гарькина (ответственный
секретарь)

Адрес редакции:
440028, г.Пенза, ул.Титова, 28, ПГУАС
Тел/факс 8412 929501
E-mail: regas@pguas.ru
fmatem@pguas.ru
www.pguas.ru/Наука/Издательская
деятельность

Редактор С.В. Сватковская
Корректоры: В.С. Кулакова, М.А. Сухова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка:
Н.А. Сазонова, Н.В. Кучина

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
использование в статьях данных, не
подлежащих открытой публикации.
Редакция может опубликовать статьи
в порядке обсуждения, не разделяя
точку зрения автора.

Подписано к печати 02.12.2010.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 22,0. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 182.

Отпечатано в полиграфическом центре ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО**
2(9)/2010

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	4
Вернигорова В.Н., Саденко Д.С., Ульянов В.В. О МЕХАНИЗМЕ ЩЕЛОЧНОГО АКТИВИРОВАНИЯ ШЛАКОВЫХ ЦЕМЕНТОВ.	4
Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ СИНТЕЗЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	9
Королев Е.В., Гришина А.Н. МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ЖИДКОСТЕКООЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	14
Вилкова Н.Г., Еланёва С.И., Кругляков П.М., Дорчина О.В. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПЕН, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ	20
Нуштаева А.В., Шумкина А.А., Кругляков П.М. СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЕ ЭМУЛЬСИЙ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ТВЕРДЫМИ МИКРОЧАСТИЦАМИ.....	31
Леснов В.В., Ерофеев В.Т. СВОЙСТВА ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ НА МИКРО- И МАКРОУРОВНЯХ ЦЕМЕНТНЫХ КАРКАСНЫХ КОМПОЗИТОВ..	38
Седова А.А., Емельянов Д.В., Осипов А.К., Ерофеев В.Т., Юдин П.В. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ АКТИВАЦИИ НА ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ	44
Логанина В.И., Макарова Л.В., Тарасов Р.В., Давыдова О.А. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ	53

© Авторы публикаций, 2010
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2010
© ПГУАС, 2010

Воронов П.В., Бобрышев А.Н., Лахно А.В., Кувшинов П.И., Туманова Н.Н. ОЦЕНКА КИНЕТИКИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ТВЕРДЕЮЩИХ ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛАХ	58	Аверкин А.Г. МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНТАКТНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ЧИСЛА ЕДИНИЦ ПЕРЕНОСА	122
Логанина В.И., Макарова Л.В., Мокрушина Ю.А. СИНТЕЗ ОКРАШЕННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ.....	67	Бирюзова Е.А., Образцов Я.А. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПУТЕМ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ	129
Бреховских В.В., Кошев Н.А., Савченкова М.В., Савченкова С.Ф. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ, ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ HoCo_5 , DyCo_5 , YCo_5	72	АРХИТЕКТУРА.....	134
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	77	Осокина Л.И., Смирнов В.А. РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ПРОЕКЦИИ В РАМКАХ ГРАФИЧЕСКОГО КОНВЕЙЕРА OPENGL: ПРИЛОЖЕНИЯ В АРХИТЕКТУРНОЙ ПРАКТИКЕ	134
Мондрус В.Л., Шутовский С.Н. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЙ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ.....	77	Панчева А.В. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО АРХИТЕКТУРНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ ДЕТСКИХ САДОВ И НАЧАЛЬНЫХ ШКОЛ С УЧЕТОМ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.....	139
Баранова Т.И., Гучкин И.С., Сафронов Д.Н. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПЛИТ, УСИЛЕННЫХ С ДВУХ СТОРОН СЛОЯМИ БЕТОНА, СОЕДИНЕННЫМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ШПОНКАМИ.....	84	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	151
Залялов Н.Б., Сотникова А.А., Кошев А.Н. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ 3D-МОДЕЛИ КОРПУСОВ ПГУАС В СРЕДЕ AUTOCAD С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ОБЪЕКТОВ	90	Чемезов И.С. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ЦЕННОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ	151
Гучкин И.С., Панков А.В. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БАЛКИ, УСИЛЕННЫЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ИЗ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	94	Артамонова Ю.С., Хрусталева Б.Б., Савченков А.В., Оськина И.В. СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИЙ..	156
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ	101	Старостина К.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ФОНДОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	163
Зиганшин М.Г. РАСЧЕТЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА ИНВЕСТИЦИЙ В ТЕПЛОИСТОЧНИКИ С ВЫБРОСОМ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ.....	101	ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ.....	169
Макеев А.Н., Левцев А.П. ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ	108	Ли Н.Г. ПРОБЛЕМА ВОСПРИЯТИЯ И ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ АКАДЕМИЧЕСКОМУ РИСУНКУ В ВУЗАХ	169
Шульженко С.Н. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕРРИТОРИИ ЗАСТРОЙКИ КОМПЛЕКСАМИ.....	115	Указатель статей, опубликованных в 2010 г.....	174

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS . 4	
Vernigorova V.N., Sadenko D.S., Uljanov D.V. ON THE MECHANISM OF SLAG CEMENTS ALKALINE ACTIVATION..... 4	
Garkina I.A., Danilov A.M., Korolev E.V. MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION AT BUILDING MATERIALS SYNTHESIS: STATE AND PERSPECTIVES9	
Korolev E.V., Grishina A.N. THE MODEL OF LIQUID-GLASS STRUCTURE COMPOSITES HARDENED BY BARIUM CHLORIDE IS OFFERED..... 14	
Vilkova N.G., Elaneva S.I., Kruglyakov P.M., Dorchina O.V. INFLUENCE OF THE STRUCTURE-NET IN THE CONTINUOUS PHASE OF THE FOAM STABILIZED BY SOLID PARTICLES ON THE FOAM PROPERTIES..... 20	
Nushtaeva A.V., Shumkina A.A., Kruglyakov P.M. FORMING OF STRUCTURE-NET IN THE CONTINUOUS PHASE OF EMULSIONS STABILIZED BY SOLID MICROPARTICLES..... 31	
Lesnov V.V., Erofeev V.T. PROPERTIES OF CEMENT CARCASS COMPOSITES DISPERSIELY REINFORCED BY FIBRES ON MICRO- AND MACRO LEVELS..... 38	
Sedova A.A., Emelyanov D.V., Osipov A.K., Erofeev V.T., Yudin P.V. INFLUENCE OF ACTIVATION WAYS ON CHEMICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WATER 45	
Loganina V.I., Makarova L.V., Tarasov R.V., Davydova O.A. OPTIMIZATION OF GENERAL PURPOSE COMPOSITES STRUCTURE, MODIFIED BY NANO-DIMENSIONAL ADDITIVES..... 53	
Voronov P.V., Bobryshev A.N., Lakhno A.V., Kuvshinov P.I., Tumanova N.N. EVALUATION OF PHASE TRANSITIONS KINETICS IN HARDENING HETEROGENEOUS MATERIALS 59	
Loganina V. I., Makarova L.V., Mokrushina J.A. SYNTHESIS OF COLORED FILLERS ON THE BASIS OF CALCIUM SILICATES FOR DRY MIXES..... 67	
Brekhovskikh V.V., Koshev N.A., Savchenkova M.V., Savchenkova S.F. PECULIARITIES OF INTERMETALLIC COMPOUNDS $HoCo_5$, $DyCo_5$, YCo_5 HEAT CAPACITY BEHAVIOUR..... 72	
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS..... 77	
Mondrus V.L., Shutovskiy S.N. DYNAMIC CHARACTERISTICS OF REGULAR STRUCTURE BUILDINGS..... 77	
Baranova T.I., Guchkin I.S., Safronov D.N. BEARING ABILITY AND RIGIDITY OF SLABS INFORCED ON BOTH SIDES WITH CONCRETE LAYERS AND LINKED BY REINFORCED DOWELS 84	
Zalyalov N.B., Sotnikova A.A., Koshev A.N. DEVELOPMENT OF INFORMATION 3D-MODEL OF PSUAC BUILDINGS IN AUTOCAD MEDIUM USING COLOR OBJECTS DIFFERENTIATION90	
Guchkin I.S., Pankov A.V. REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED BY COMBINED SYSTEM OF STEEL ELEMENTS94	
ENGINEERING SYSTEMS..... 101	
Ziganshin M.G. CALCULATIONS OF RISK INDICATORS INVESTINGS IN GREENHOUSE GAS EMITING HEAT SOURCES101	
Makeev A.N., Levitsev A.P. PULSE SYSTEMS OF PUBLIC BUILDINGS HEAT SUPPLY108	
Shulzhenko S.N. ORGANIZATION IMPROVEMENTS OF ENGINEERING PREPARATION OF TERRITORY FOR COMPLEXES BUILDING115	
Averkin A.G. METHOD OF CONTACT DEVICE FOR THERMAL AND AIR TREATMENT CALCULATION BASED ON THE NUMBER OF UNITS TRANSFER.....122	
Biryuzova E.A., Obrazcov Y.A. SOLVING THE PROBLEMS OF ENERGY EFFICIENCY BY RECONSTRUCTION OF HEAT NETWORK IN ST. PETERSBURG129	
ARCHITECTURE 134	
Osokina L.I., Smirnov V.A. IMPLEMENTATION OF NONLINIAR PROJECTION WITHIN THE OPENGL PIPELINE: ARCHITECTURAL APPLICATIONS.....134	
Pancheva A.V. OFFERS ON ARCHITECTURE-TYOLOGICAL DECISIONS OF KINDERGARTENS AND ELEMENTARY SCHOOLS WITH THE ACCOUNT OF DEMOGRAPHIC FLUCTUATIONS139	
ECONOMICS AND MANAGEMENT 151	
Chemezov I.S. ANALYSIS OF ORGANISATIONAL VALUES CHANGES IN CONSTRUCTION ENTERPRISES IN THE COURSE OF DEVELOPMENT151	
Artamonova J.S., Hrustalev B.B., Savchenkov A.V., Oskina I.V. STRATEGIC DEVELOPMENT OF THE REGIONAL BUILDING COMPLEX ON THE BASIS OF INNOVATIONS156	
Starostina K.I. MODELLING OF THE BUILDING ENTERPRISES MAIN FUNDS' REPRODUCTION PROCESS163	
PROFESSIONAL TRAINING IN A TECHNICAL HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT..... 169	
Lee N.G. PERCEPTION PROBLEM AND STUDENTS COGNITIVE ACTIVITY DURING TEACHING THEM ACADEMIC FIGURE IN HIGER SCHOOLS 169	

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.544:666.943:66.097.4

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Вернигорова Вера Никифоровна,
доктор химических наук, профессор
кафедры «Строительные материалы».
Адрес: 440000, г. Пенза,
ул. Революционная, д. 2Д, кв. 4

Саденко Сергей Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные материалы».
Адрес: г. Пенза, пр. Строителей,
д. 53, кв. 77

Ульянов Дмитрий Владиславович,
аспирант кафедры
«Строительные материалы».
Адрес: г. Пенза, ул. Минская, д.13, кв. 122

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Vernigorova Vera Nikiforovna,
Doctor of Science in Chemistry, Professor
of the department «Building materials».
Address: Penza, 2D,
Revolutsionnaya St., ap.4

Sadenko Sergey Mihailovich,
Candidate of Science, Professor of the
department «Building materials».
Address: Penza, 53, Prospect Stroiteley, ap.77

Uljanov Dmitrey Vladislavovich,
Postgraduate of the department
«Building materials».
Address: Penza, 13, Minskaya St., ap.122

О МЕХАНИЗМЕ ЩЕЛОЧНОГО АКТИВИРОВАНИЯ ШЛАКОВЫХ ЦЕМЕНТОВ

В.Н. Вернигорова, Д.С. Саденко, В.В. Ульянов

Рассмотрены процессы взаимодействия молекул воды и щелочных активаторов с частицами стекловидной фазы металлургических шлаков. Раскрыты влияние температуры на состояние воды и ее реакционную способность, механизм щелочного активирования. Показано преимущество щелочного активатора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по сравнению со щелочными активаторами NaOH или KOH .

Ключевые слова: шлаки, минералы шлаков, взаимодействие с водой, активирование известью и щелочами.

ON THE MECHANISM OF SLAG CEMENTS ALKALINE ACTIVATION

V.N. Vernigorova, D.S. Sadenko, D.V. Uljanov

The processes of water molecules and alkali activations interaction with metallurgical slags particles in glassy phase are discussed. Temperature influence on water state and its ability to react, mechanisms of alkali activation are opened. Advantage of alkali activator $\text{Ca}(\text{OH})_2$ compared with alkali activators NaOH or KOH is shown.

Keywords: slags, mineral slags, interection with water, activation by lime and alkaline.

Шлаки – побочные продукты, полученные при плавке черных и цветных металлов, сжигании твердых видов топлива и при электротермической возгонке фосфора. Шлаки делятся на два типа: медленноохлажденные кристаллические и быстроохлажденные гранулированные, содержащие стекловидную фазу. Не только медленноохлажденный, но и тонкоизмельченный гранулированный шлак не схватывается и не твердеет при смешивании с водой, и необходимы специальные добавки – активизаторы для того, чтобы проявились его вяжущие свойства. Для активизации шлака используют известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которую добавляют в количестве 15 %, портландцемент (шлакопортландцемент), смесь портландцемента и сульфата кальция (сульфатно-шлаковый цемент), к которой добавляется небольшое количество извести. Активизаторами являются также гидроксиды натрия и калия (NaOH , KOH) и смеси солей, дающих растворы с высоким значением pH.

Гидравлическая активность шлаков зависит от их химического состава, который представлен в таблице. Химический состав дается в сравнении с химическим составом основного минерала портландцемента – алита.

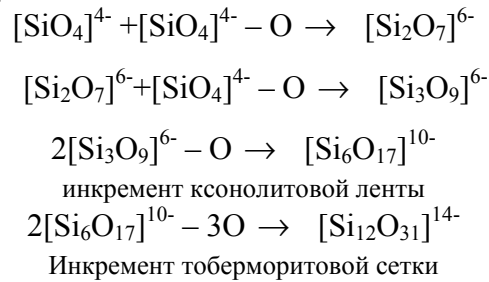
Химический состав и типы кристаллических решеток минералов стеклофазы шлаков

Название минерала	Тип кристаллической решетки и ее параметры	CaO, %	SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	MgO, %
1. Анортит (полевой шпат) а) ромбический б) гексагональный в) триклинный	$a=0,822$ нм; $b=0,86$ нм; $c=1,47$ нм; $a=0,511$ нм; $c=1,47$ нм; $a=0,821$ нм; $b=1,295$ нм; $c=1,446$ нм;	20,16	43,19	36,65	–
2. Геленит	тетрагональная; $a=0,769$ нм; $c=0,510$ нм;	29,24	21,91	37,18	–
3. Диопсид-кальций – магниевый метасиликат	монокланная; $a=0,975$ нм; $b=0,892$ нм; $c=0,5252$ нм;	25,90	55,49	–	18,61
4. Мелилит (твердый раствор)	тетрагональная;	44,44	33,33	11,11	11,11
5. Монтichelлит (ортосиликат)	ромбическая; $a=0,481$ нм; $b=1,108$ нм; $c=0,637$ нм;	35,84	38,40	–	25,76
6. Мервинит	моноклинная; $a=0,52$ нм; $b=0,92$ нм; $c=0,678$ нм;	51,18	36,56	–	12,26
7. Окерманит	тетрагональная; $a=0,784$ нм; $c=0,501$ нм;	41,13	44,08	–	14,79
8. Алит: $54\text{CaO} \cdot 16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$ (портландцемент)	моноклинная: $a=1,222$ нм; $b=0,707$ нм; $c=1,856$ нм;	73,29	23,27	2,47	0,97

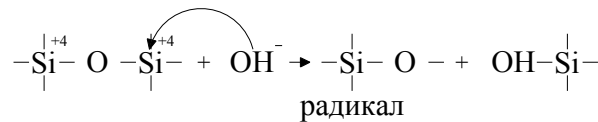
Данные таблицы показывают, что минералы шлака сильно отличаются от минерала алита портландцемента содержанием CaO.

Минерал диопсид имеет пониженное содержание CaO (почти в 3 раза по сравнению с алитом), но повышенное содержание (более чем в 2 раза) SiO₂, поэтому ни при каких условиях не гидратируется. Содержание CaO в структуре мервинита составляет более 50 %, поэтому этот минерал является наиболее гидравлически активным. Остальные минералы имеют пониженное содержание CaO; содержание же SiO₂ (кроме геленита) более высокое в 1,5–2,0 раза.

Следовательно, основными факторами, обуславливающими процессы схватывания и твердения минералов стекловидной фазы, являются: наличие воды, достаточное содержание CaO и повышенная температура (175 °C и выше). Именно недостаток CaO в минералах шлака является причиной их активирования. Гидросиликаты кальция имеют орторомбическую кристаллическую решетку, а тобермориты – слоистую орторомбическую решетку, в которой тетраэдры находятся в состоянии высшей степени конденсации. Следовательно, в процессе схватывания и твердения происходит перестройка кристаллических решеток минералов шлака в кристаллическую решетку гидросиликатов кальция с максимальной конденсацией тетраэдров. При активировании шлака Ca(OH)₂ в системе «шлак-вода» устанавливается щелочная среда с pH ≈ 11. В щелочной среде силикатная составляющая шлака SiO₂ растворяется, конденсация тетраэдров [SiO₄]⁴⁻ невозможна, так как она связана с удалением атомов кислорода из структуры. Гидросиликаты кальция – это продукты конденсации кремнекислородных тетраэдров, происходящей по схеме:

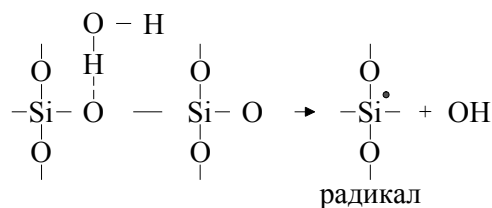


Удаление атомов кислорода из структуры минералов шлака возможно только в кислой среде, при наличии ионов водорода H⁺. Источником ионов водорода является вода. При температуре выше 100 °C вода находится в высокодисперсном парообразном состоянии, в виде нанокластеров. Нанокластеры воды обладают большим запасом энергии, они атакуют активные центры на поверхности частиц стекла и отдают им часть своей энергии, вследствие чего колебания атомов усиливаются и происходит разрыв химических связей катионов стеклообразователей с атомами кислорода. Гидроксильные группы активатора обладают большим поляризующим действием, образуют донорно-акцепторную связь с атомами сеткообразователей Si⁴⁺, Al³⁺, Mg²⁺ и разрывают их связи с кислородом по схеме:

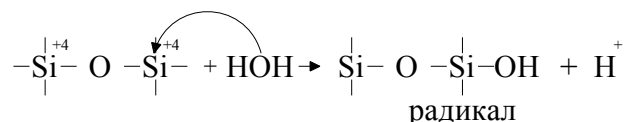


Тетраэдры становятся разорванными и изначально деформированными, так как они являются элементами неупорядоченной сетки стекла. Молекулы воды попадают в тетраэдры [SiO₄]⁴⁻, [AlO₄]⁵⁻, [MgO₄]⁶⁻ и образуют с катионами донорно-акцепторные связи, а с анионами – водородные.

Под действием сил связи молекулы воды или диссоциируют на ионы H⁺ и OH⁻, или распадаются на радикалы H[•] и OH[•]. При образовании донорно-акцепторной связи молекул воды с атомами сеткообразователей, прежде всего с атомом Si, обладающим высоким эффективным зарядом, атом кремния увеличивает свое координационное число, что приводит к расширению приповерхностных слоев стекла, куда и устремляются как нанокластеры воды, так и гидроксильные ионы активатора. Атомы кислорода, общие для двух тетраэдров, находятся под особым напряжением. Именно с ними и взаимодействуют молекулы воды по схеме:

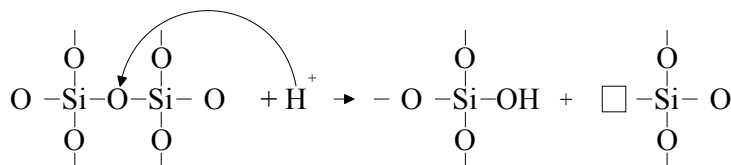


или

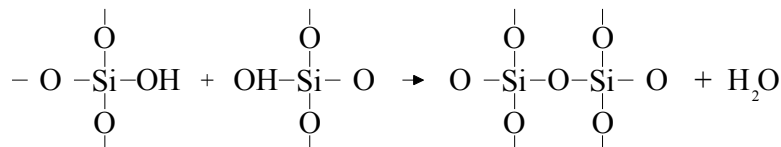


Из схем видно, что при образовании водородной связи образуется неполный тетраэдр с силанольной группой – Si – OH и два радикала. При образовании донорно-акцепторной связи образуются радикал и ионы водорода.

Ионы водорода атакуют мостиковый кислород по схеме:



В результате образуется неполный тетраэдр SiO₃OH, а другой тетраэдр содержит вакансию по кислороду, то есть является радикалом. Гидроксильные группы двух близкорасположенных тетраэдров взаимодействуют друг с другом, образуя пару тетраэдров, связанных общим кислородом, и молекулу воды:



Происходит связывание тетраэдров и рекомбинация воды. При повышенной температуре (175 °С и выше) полярные нанокластеры воды и гидроксильные группы активатора, взаимодействуя с кислотными и основными центрами поверхности частиц стекла, разрывают химические связи Si-O, Al-O, Mg-O и др. и диспергируют структуру минералов стекла, превращая ее в разрозненные фрагменты-кластеры радикального типа. Стеклообразная фаза шлака становится неустойчивой. Однако вместе с водой и гидроксильными ионами в структуру шлака вводятся катионы кальция, натрия, калия. Попав в структуру шлака, катионы кальция стремятся восстановить состояние валентного насыщения, для этого они формируют с атомами кислорода, общими с атомами-стеклообразователями, октаэдрические колонки из CaO_n, где n – координационное число, равное 6–9 и 12. Октаэдры очень прочные, к ним, согласно теории академика Н.В. Белова, приспосабливаются конденсированные из тетраэдров [SiO₄]⁴⁻ радикалы гидросиликатов кальция. Вода, находящаяся в октаэдрических и тетраэдрических пустотах, производит дополнительное связывание кальций-кислородных октаэдров с конденсированным кремнекислородным мотивом, выравнивая при этом силу слабой кремниевой кислоты и более сильного основания Ca(OH)₂.

Как показал Нерс¹, кальций может образовывать октаэдры только при оптимальном содержании вводимого активатора в виде Ca(OH)₂, более высоком, чем в минералах шлака. Вводимый в структуру шлака активатор NaOH или KOH, содержащий ион гидроксила, обладающий сильным поляризующим действием, поляризует и разрывает связи Si-O и др., то есть диспергирует структуру стекла. Однако внедрившиеся в структуру стекла шлака катионы натрия или калия не могут в силу своей природы сформировать прочные элементы структуры – октаэдры. Наряду с молекулами воды, эти катионы размещаются в тетраэдрических пустотах и не образуют с водой труднорастворимых соединений, способствующих конденсации тетраэдров [SiO₄]⁴⁻. В бетон на основе шлакового цемента с активатором NaOH вводится щелочной компонент. Под нагрузкой и во влажных условиях в бетоне протекают щелочеси-

¹ Нерс Р.У. Шлаковые цементы // Химия цементов. М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. С. 333.

ликатные реакции: щелочной компонент NaOH будет реагировать с активным кремнеземом заполнителя с образованием геля Na_2SiO_3 . В геле возникает давление набухания, которое вызывает расширение структуры и появление трещин.

В результате исследования сделаны выводы:

1. Для повышения прочности и долговечности бетона на основе шлакового цемента в качестве активатора следует использовать только известь или портланд-цемент, то есть активатор, содержащий кальций в оптимальном количестве.

2. Использование в качестве активаторов NaOH или KOH может привести впоследствии к щелочесиликатным реакциям в бетоне и к его преждевременному разрушению.

3. Вода должна быть в высокодисперсном парообразном состоянии, что возможно только при температуре выше $100\text{ }^\circ\text{C}$.

4. Гидратация шлаковых цементов протекает с участием промежуточных активных частиц-радикалов и нанокластеров.

5. Щелочные активаторы инициируют разрыв химических связей и способствуют увеличению концентрации активных частиц – радикалов и нанокластеров, но в присутствии NaOH и KOH в количестве больше оптимального ослабляют структуру шлака, снижая его водостойкость.

УДК [691.3:691.74]:[519.85:51-74]

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Гарькина Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и математическое моделирование».
E-mail: fmatem@pguas.ru

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, зав. кафедрой «Математика и математическое моделирование».
E-mail: fmatem@pguas.ru

Королев Евгений Валерьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы», советник РААСН.
E-mail: korolev_ev@pguas.ru

Penza State University of Architecture and Construction

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

Garkina Irina Aleksandrovna, Candidate of Science. Associate Professor of the department «Mathematics and Mathematical Modeling».
E-mail: fmatem@pguas.ru

Danilov Alexander Maksimovich, Doctor of Science. Professor. Adviser of the Russian Academy of Architectural and Building Science. Head of the department «Mathematics and Mathematical Modeling».
E-mail: folim1@mail.ru

Korolev Evgeniy Valeryevich, Doctor of Science, Professor of the department «Building materials», Adviser of the Russian Academy of Architectural and Building Science.
E-mail: korolev_ev@pguas.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ СИНТЕЗЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ*

И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев

Рассматриваются проблемы математического и компьютерного моделирования при синтезе строительных материалов как сложных систем.

Ключевые слова: математическое моделирование, компьютерное моделирование, строительные материалы.

MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION AT BUILDING MATERIALS SYNTHESIS: STATE AND PERSPECTIVES

I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev

The problems of mathematical modeling and simulation at building materials synthesis as complex systems are examined.

Keywords: mathematical modeling, simulation, building materials.

С общетеоретической и методологической точек зрения моделирование является методом научного познания. Компьютерное моделирование – одно из направлений математического моделирования, основанное на использовании информационных технологий. Здесь оно рассматривается как технология решения прикладной научно-технической задачи с использованием ЭВМ. При замене реального объекта или процесса его формальным описанием исследователем отбрасываются *несущественные* для изучения объекта характеристики. Возможность такой замены указывается в ра-

* Выполнена по заказу Минобрнауки РФ (№ гос.пер.01200850940).

боте [1]: «Для любой реальности (явления, процесса и т.д.) и любой наперед заданной (но не абсолютной) точности существует математическая структура, которая описывает эту реальность с этой точностью, и обратно, для любой математической структуры и любой точности существует реальность, которая описывается этой структурой с этой точностью».

Выбор характеристик объекта-оригинала, которые при этом сохраняются и войдут в модель, *определяется целями моделирования*. Основное требование к моделям – их адекватность реальным процессам или объектам, которые замещает модель. *Существенные черты объекта или процесса* в математической модели определяются на языке уравнений или других математических средств.

При компьютерном моделировании анализ, интерпретация и сопоставление результатов моделирования с реальным поведением изучаемого объекта (а, при необходимости, и последующее уточнение модели) производится на основе серии вычислительных экспериментов. *При математическом моделировании не всегда предполагается компьютерная поддержка*. Более того, *всегда отдается предпочтение аналитическим методам исследования модели перед численными методами*. К сожалению, часто практическая реализация аналитических методов сопряжена с большими трудностями, что и приводит к необходимости использования численных методов и компьютерного моделирования. Аналитические методы и компьютерное моделирование не только не противостоят друг другу; их взаимное проникновение способствует лучшему пониманию исследуемых процессов в динамике (например, системы визуализации).

Ограничимся приложениями указанных методов к разработке композиционных материалов специального назначения с заранее заданными свойствами. Экспериментальное определение свойств композиционных материалов требует большого объема дорогостоящих исследований. Это вызывает необходимость построения теоретических моделей композиционных материалов, в частности, для описания процессов формирования физико-механических характеристик.

Известны [2] немногочисленные попытки получения аналитических зависимостей, связывающих свойства компонентов композиционных материалов и их концентрацию в смеси со свойствами готового композита. Получение таких зависимостей принципиально позволяет определить концентрацию и гранулометрические характеристики ингредиентов материала, обусловленные предъявляемыми к нему требованиями; приводится и методика определения критической концентрации, позволяющая оценить зависимость критической объёмной концентрации от среднего значения гранулометрического состава заполнителя композитного материала. Методами математического моделирования и оптимизации определяется эффективная прочность композитных материалов (некоторая усреднённая прочность материала в целом). Здесь же предлагается программа, позволяющая определить концентрацию, гранулометрический состав заполнителя и желаемую прочность материала, исходя из прочности чистого вяжущего, диапазона разброса гранулометрического состава заполнителя и значения желаемой прочности композита.

Очевидны перспективы развития компьютерного материаловедения для создания композиционных материалов с высокими эксплуатационными свойствами, долговечностью и надёжностью. Это и изучение процессов формирования структуры композитных материалов, и влияние характера распределения заполнителя на свойства материалов. Возможно изучение теплопроводности, электропроводности и диэлектрических свойств композитов. Известны и работы по изучению процесса возникновения дефектов в композитных материалах (трещины, поры, раковины и т.п.) и оптимизации составов композитов (исходя из минимума трещинообразования, заданной пористости и др.).

При синтезе композиционных материалов в настоящее время используется некий симбиоз аналитических методов и компьютерного моделирования. Нами, как итог собственных исследований, и другими авторами предлагается *схема синтеза*, включающая:

- моделирование отдельных свойств;
- выделение основных параметров моделей;

- зависимость параметров моделей от рецептурно-технологических характеристик;
- зависимость свойств от рецептурно-технологических параметров (метапараметров – функций параметров моделей);
- определение множества частных критериев;
- ранжирование свойств материалов;
- минимизация размерности критериального пространства;
- многокритериальная оптимизация качества материала и соответствующих оптимальных рецептурно-технологических параметров.

Моделирование отдельных свойств. Укажем ряд наиболее важных задач:

- *описание свойства как интегральной характеристики многофазного материала, состоящего из двух и более компонентов (сохраняют свою индивидуальность; между компонентами существуют границы раздела; один из компонентов – матрица (связующее) – связным образом заполняет пространство; другие компоненты – включения – занимают изолированные области), через параметры матрицы (связующего), размеры включений и расстояния между ними;*

- *моделирование свойств композитов через кинетические процессы формирования эксплуатационных характеристик;*

- *построение многофакторных экспериментально-статистических моделей свойств материалов.*

Естественно, выбор вида моделей должен осуществляться исходя из простоты интерпретации физического смысла их параметров.

Основные параметры моделей. В разработанных моделях параметры могут быть геометрическими, характеризующими реологические свойства и др. Свойства композитов могут определяться и через параметры кинетических процессов формирования каждой из основных физико-механических характеристик материала. В этом случае перспективно использование методов системного анализа, теорий управления и идентификации. Связь частных критериев качества материала от рецептурно-технологических параметров, в частности, может быть получена с использованием методов планирования эксперимента (экспоненциально-полиномиально-тригонометрические модели). Однако всегда надо помнить, что одна из основных целей моделирования – прогноз, что часто забывается многими авторами.

Зависимость параметров моделей и свойств от рецептурно-технологических характеристик. Для каждого структурного уровня и каждого свойства материала используются различные модели. Как правило, частные критерии качества (свойства) материала есть нелинейные функции рецептурно-технологических параметров; линейные части являются основными составляющими; парные взаимодействия определяют синергетические составляющие (в ряде случаев могут превосходить линейные). Естественно, оценка производится с использованием соответствующей нормировки рецептурно-технологических параметров.

Определение множества частных критериев. В общем случае частные критерии являются противоречивыми. Первоначально их выбор производится субъективно на основе имеющегося опыта и анализа литературных данных. Уточнение возможно с использованием когнитивного моделирования (построения орграфа). Но здесь подстерегает возможность получения неверного орграфа, связанная с нарушением справедливости *принципа транзитивности* каузальных связей [3]: *нельзя исключить пропуск при составлении когнитивной карты некоторых связей, которыми иногда по существу и определяется рассматриваемое свойство* (ошибочное представление причинно-следственных связей). С этим и связана трудность определения числа частных критериев, которые устанавливают требуемые эксплуатационные характеристики материала.

Ранжирование свойств материалов. Вообще говоря, частные критерии являются не только противоречивыми, но и зависимыми. Это должно учитываться при их ранжировании. На практике первоначально приоритеты критериев устанавливаются на основе экспертных оценок. Их уточнение может производиться с учетом корреляционных связей (коэффициентов корреляции) между некоторым обобщенным (гло-

бальным) критерием и частными критериями (как правило, чем больше коэффициент корреляции, тем большим приоритетом обладает частный критерий).

Минимизация размерности критериального пространства. Вопросы определения множества частных критериев и ранжирования свойств материалов непосредственно связаны с минимизацией размерности критериального пространства. Как показывает опыт, неплохие результаты дает метод главных компонент [4].

Многокритериальная оптимизация качества материала и соответствующих оптимальных рецептурно-технологических параметров. При одинаково значимых критериях многокритериальная оптимизация сводится к оптимизации векторной целевой функции $\mathbf{q}(\mathbf{x}) = (q_1(\mathbf{x}), q_2(\mathbf{x}), \dots, q_m(\mathbf{x}))$. До определения всех основных свойств материала с полным истолкованием всех возможных взаимосвязей относительная значимость этих целей остается неизвестной. С возрастанием числа возможных целей возрастает и сложность структуры взаимосвязей, что вызывает трудность *идентификации материала как системы*. Многое определяется интуицией исследователя и его предпочтениями в процессе оптимизации. Необходимые предпочтения в постановке задачи учитываются в виде числовых зависимостей. В общем случае многокритериальная оптимизация сводится к минимизации некоторого вектора целей $\mathbf{q}(\mathbf{x})$, на который могут быть наложены дополнительные ограничения или предельные значения (задача нелинейного программирования). Во многих случаях многокритериальную задачу минимизации вектора $\mathbf{q}(\mathbf{x})$ с использованием *стратегии взвешенных сумм* можно свести к скалярной задаче (принимается $q(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot q_i(x)^2$). Далее можно использовать стандартный алгоритм оптимизации без ограничений.

Как показывает опыт, неплохие результаты дает и построение множеств Парето (можно использовать, в частности, MATLAB).

Несмотря на обилие публикаций, *моделирование строительных композитов как систем* (как математическое, так и компьютерное) по существу находится лишь на начальной стадии своего развития. Это отмечалось и на многочисленных конференциях по строительному материаловедению, в том числе в РААСН. В большинстве своем в исследованиях, в лучшем случае, ограничиваются однокритериальной оптимизацией. Иногда делаются попытки расстановки приоритетов критериев и совсем редко рассматриваются задачи синтеза строительных материалов с использованием методов многокритериальной оптимизации. Не получили должного развития и методы системного анализа, теорий управления и идентификации, хотя перспективность их использования нами уже неоднократно указывалась [5, 6]. Это касается и вопросов *определения интегративных свойств систем на основе автономных исследований отдельных подсистем*. Для больших сложных систем, сформированных по *модульному принципу* (в том числе и композиционных материалов), осуществляется декомпозиция системы на отдельные подсистемы, обладающие определенной степенью автономности. Каждый элемент иерархической структуры системы, находящийся на определенном уровне, представляет собой модуль. С ростом уровня иерархии (понижение номера уровня) происходит объединение модулей в более крупные. Объединение отдельных подсистем в единую систему производится с учетом межсистемных связей.

Каждый элемент в иерархической структуре качества системы определяет автономно (без учета *всех* межсистемных связей) качество отдельной системы. Отметим, что результаты автономных исследований модулей можно использовать для определения интегративных свойств (определяются связями между модулями, уровнями и на каждом из уровней) в основном лишь на качественном уровне.

Для возможности использования результатов автономных исследований отдельных подсистем для синтеза системы в целом межсистемные связи можно устранить

введением *настраиваемых эталонных моделей с одновременной децентрализацией модулей по входам*.

Условия для переноса результатов автономных исследований на систему в целом определяются полнотой понимания процессов формирования структуры и свойств системы. Естественно, возникает необходимость определения классов задач, позволяющих использовать эталонные модели. Так, при определении некоторых свойств материала в зависимости от гранулометрического состава можно использовать ингредиенты из других материалов, но с тем же гранулометрическим составом, что и в синтезируемом материале. При этом необходимо обеспечить аналогичные, по возможности точные, межсистемные связи (например, смачиваемость), или при переносе результатов автономных исследований смачиваемости на формирование структуры и свойств материала необходимо знать параметры смачиваемости входящих компонентов в стесненных условиях. Принципиально это можно обеспечить использованием настраиваемой эталонной модели, предусматривающей регулирование давления между компонентами. Настройку можно обеспечить с использованием экспериментальных данных на образцах.

Использование эталонных моделей с децентрализацией модулей по входам, вообще говоря, не ново (например, при синтезе систем управления в авиации и космонавтике). Здесь речь идет лишь о распространении метода для решения задач строительного материаловедения.

Традиционно используемые в строительном материаловедении данные о кинетических процессах формирования структуры и физико-механических характеристик материала по существу являются автономными исследованиями отдельных сепаратных модулей. При этом требуемые параметры кинетических процессов определяются с учетом межсистемных связей. Неявно присутствуют эталонные модели, предусматривающие одновременную децентрализацию по входам.

Решение всех этих задач возможно с использованием различных методов моделирования на основе универсального и специально разработанного автономного программно-алгоритмического обеспечения.

Список литературы

1. Бутковский, А.Г. К философии и методологии проблем управления [Текст] / А.Г.Бутковский // Идентификация систем и задачи управления SICPRO' 03: Пленарные доклады II Международной конференции. Москва, 29–31 января 2003, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова. – С.36–43.
2. Баженов, Ю.М. Компьютерное моделирование строительных композитных материалов. Состояние и перспективы развития [Текст] / Ю.М. Баженов, В.А. Воробьев, А.В. Илюхин // Известия вузов. Строительство. – 1999. – №11. – С.3–4.
3. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 3/4. – С.30–37.
4. Гарькина, И.А. Метод главных компонент в управлении качеством материалов для защиты от ионизирующего излучения [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Обзорение прикладной и промышленной математики. – Т. 16, вып. 2. – М., 2009. – С.306–307.
5. Данилов, А.М. Математические методы при разработке и управлении качеством материалов специального назначения [Текст] / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, О.В. Королева, В.А. Смирнов // Строительные материалы. – 2010. – №3. – С.112–117.
6. Гарькина, И.А. Управление качеством материалов со специальными свойствами [Текст] / И.А.Гарькина, А.М.Данилов // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–74.

УДК 691.611.22:666.9.015.43

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Королев Евгений Валерьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные материалы»,
советник РААСН.
E-mail: korolev_ev@pguas.ru

Гришина Анна Николаевна,
аспирант кафедры «Строительные
материалы»
E-mail: annagrishina28@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Korolev Evgeniy Valeryevich,
Doctor of Science, Professor
of the department «Building materials»,
Adviser of the Russian Academy of
Architectural and Building Science.
E-mail: korolev_ev@pguas.ru

Grishina Anna Nicolaevna,
Postgraduate of the department «Building
materials»
E-mail: annagrishina28@rambler.ru

МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е.В. Королев, А.Н. Гришина

Предложена модель структуры жидкостекольных композитов, отверждённых хлоридом бария, устанавливающая взаимосвязь между геометрическими параметрами продуктов отверждения и величиной усадки, зависящей от количества отвердителя, модификатора или дисперсной фазы, а также технологического режима изготовления материала.

Ключевые слова: жидкое стекло, отвердитель, структурообразование, свойства.

THE MODEL OF LIQUID-GLASS STRUCTURE COMPOSITES HARDENED BY BARIUM CHLORIDE IS OFFERED

E.V. Korolev, A.N. Grishina

The model of liquid-glass structure barium chloride hardened composites is offered. This model determines correlation between dimensional parameters of hardened product and degree of shrinkage. The shrinkage in turn depends upon the quantity a hardener and a modifier or disperse phase; shrinkage is also influenced by production technological conditions of the material.

Keywords: water glass, hardener, structurization, properties.

В работе [1] показано преимущество химического отверждения жидкого стекла с использованием хлорида бария. Структурообразование «жидкое стекло-хлорид бария» имеет особенности [2], заключающиеся в образовании нитевидных гидросиликатов бария (рис. 1,а), которые составляют специфическую сетчатую структуру (рис. 1, б).

Очевидно, что геометрические параметры элементов такой структуры определяют свойства материала, в частности усадку, которая устанавливает внутреннее напряженное состояние материала и, следовательно, показатели эксплуатационных свойств.

Разработаем модель структуры жидкостекольных материалов, отверждённых хлоридом бария. Отдельные элементы образующейся структуры можно представить в виде ячейки, стороны которой представлены в виде стержней длиной l_0 и размером поперечного сечения h (рис. 2).

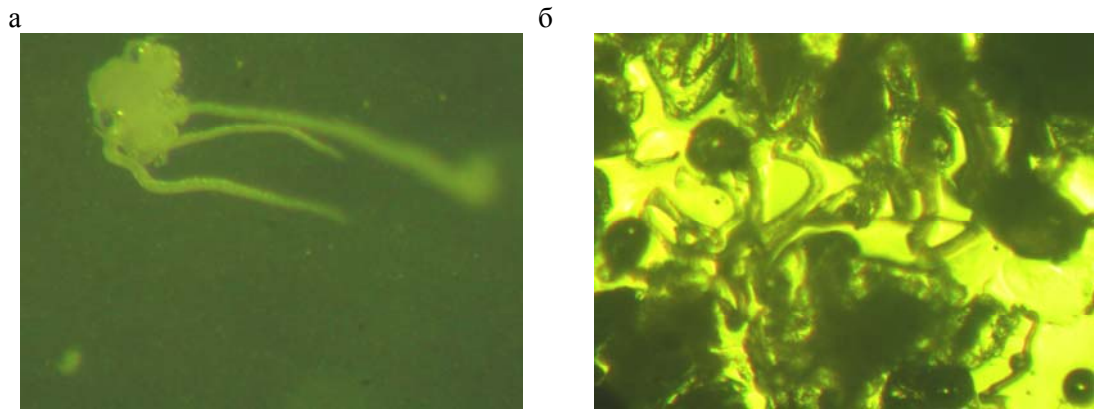


Рис. 1. Структура продуктов взаимодействия жидкого стекла и хлорида бария:
 а – гидросиликаты бария (увеличение $196\times$); б – сетчатая структура из гидросиликатов бария
 (увеличение $196\times$)

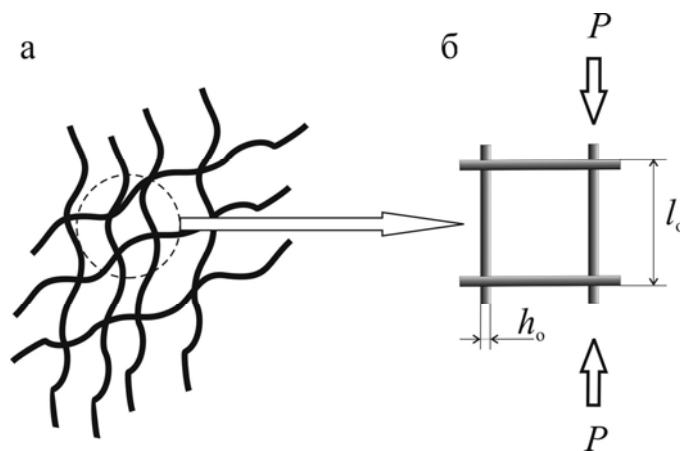


Рис. 2. Модель структуры жидкостеклового материала, отверждённого хлоридом бария

Предположим, что усадка вызывается силой P . При превышении P некоторого критического значения P_* стержень может изгибаться, что эквивалентно деформированию модели, т.е. усадке материала. Значение P_* с учётом принятых обозначений можно определить по формуле Эйлера:

$$P_* = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2},$$

где E – модуль упругости; l – длина; I_{\min} – момент инерции сечения, равный:

$$I_{\min} = \frac{h^4}{12}.$$

Отсюда критическое напряжение равно

$$\sigma_* = \frac{\pi^2 E}{12} \left(\frac{h}{l} \right)^2.$$

Очевидно, что при образовании гидросиликатов бария, идентичных по химическому составу, $E = \text{const}$. Поэтому σ_* будет определяться геометрическими характеристиками стержней модели.

При увеличении содержания хлорида бария или при введении дисперсной фазы происходит изменение образующейся структуры, сопровождающееся увеличением числа нитевидных гидросиликатов бария, что эквивалентно увеличению количества ячеек в модели (рис. 3).

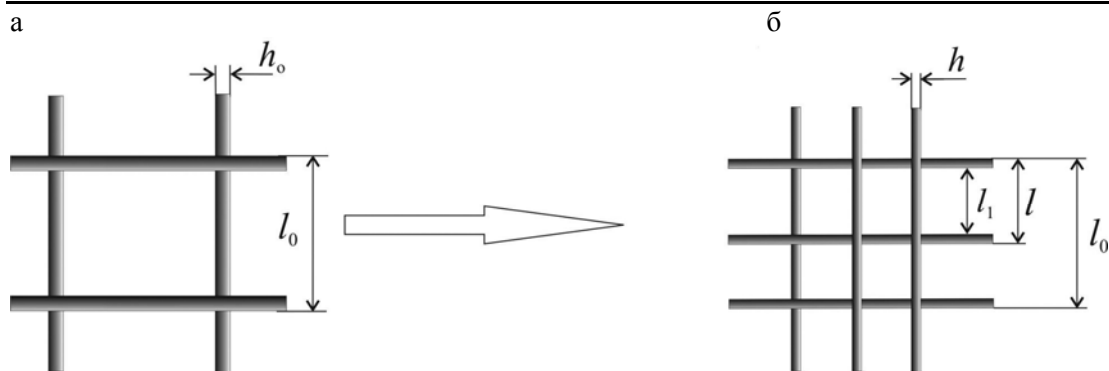


Рис. 3. Модель структуры сетки из гидросиликатов бария без (а) и в присутствии дисперсной фазы (б)

Очевидно, что при $V = \text{const}$ (здесь V – объём гидросиликатов бария) увеличение количества ячеек приводит к изменению геометрических характеристик стержней модели. Установим зависимость изменения геометрических характеристик стержней от количества ячеек. По данным рис. 2,а, определим объём гидросиликатов бария:

$$V_0 = (l_0^2 - (l_0 - 2h_0)^2) h_0.$$

При замене $h_0 = al_0$

$$V_0 = al_0^3 (1 - (1 - 2a)^2).$$

По данным рис. 3,б, запишем условие

$$l_0 = n_l l_1 + (n_l + 1) h,$$

где $n_l = \sqrt{n}$; n – количество ячеек.

При замене $k = l_0/l_1 = l_0/(l - 2h)$ получим

$$V_0 = l_0^2 \left(1 - \frac{n_l}{k^2} \right) h.$$

При $V = \text{const}$ относительное изменение h равно

$$\frac{h}{h_0} = \left(1 - \left(1 - 2 \frac{h_0}{l_0} \right)^2 \right) \left(1 - \left(\frac{n_l}{n_l + (n_l + 1) \frac{h}{l_1}} \right)^2 \right)^{-1}.$$

Значения изменения соотношения h/l при формировании различного количества ячеек приведены в табл. 1.

Анализ данных, указанных в таблице, показывает, что изменение структуры модели, состоящей из длинных стержней ($h_0/l_0 = 0,001$), сопровождается увеличением соотношения h/l ($h/l > h_0/l_0$) с повышением количества ячеек. Такое изменение приводит к повышению критического напряжения σ_* , а следовательно, уменьшению величины усадки. Это подтверждается экспериментальными данными. При увеличении количества отвердителя с 25 до 100 % независимо от температуры твердения величина усадки уменьшается (рис. 4, табл. 2). Аналогичное изменение усадки жидко-стеклового вяжущего наблюдается при введении модификаторов, формирующих на

частицах отвердителя блокирующий слой и создающих в материале дополнительные дисперсные фазы.

Т а б л и ц а 1

Результаты моделирования h/l

Соотношение h_0/l_0	Диапазон изменения	Количество ячеек				
		4	9	16	25	36
0,001	min	0,021	0,031	0,046	0,053	0,067
	max	0,463	0,326	0,926	0,968	0,66
	Среднее значение	0,242	0,178	0,486	0,510	0,363
0,01	min	0,206	0,309	0,412	0,514	0,617
	max	41,684	2,062	68,87	79,2	60,924
	Среднее значение	20,945	1,185	34,641	39,857	30,770
0,05	min	0,987	1,481	2,05	4,512	–
	max	11,777	123,916	97,442	125,007	–
	Среднее значение	6,382	62,698	49,746	64,759	–

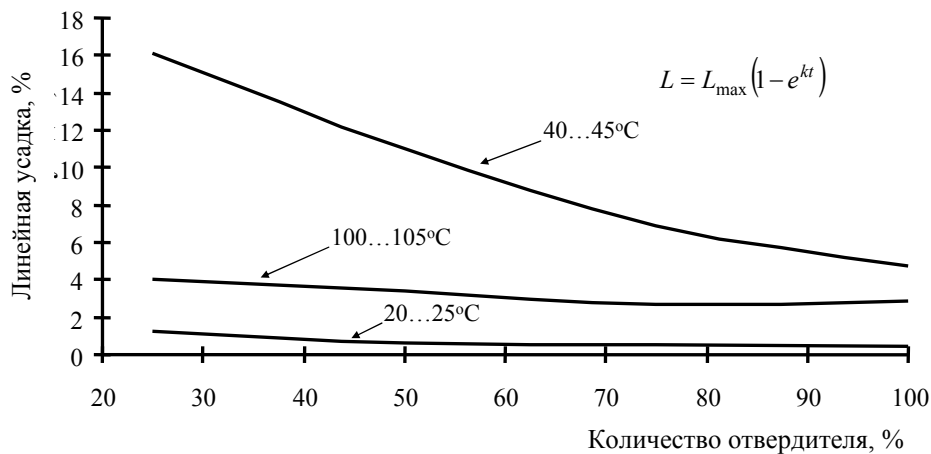


Рис. 4. Зависимость линейной усадки от количества отвердителя при различных температурах твердения

Т а б л и ц а 2

Значения эмпирических коэффициентов

Количество отвердителя, %	Значения коэффициентов		
	L_{\max} , %		
	при температуре, °C		
	20–25	40–45	100–105
25	1,28	16,11	4,05
50	0,62	10,99	3,36
75	0,53	6,86	2,68
100	0,49	4,78	2,83

Для моделей, сформированных из стержней с параметрами $h_0/l_0 = 0,01$, соотношение h/l изменяется в широком диапазоне: $1 < h/l < 1$. Это указывает, что при таких параметрах модели может наблюдаться как уменьшение, так и увеличение её усадки. На сценарий изменения усадки будут оказывать влияние внешние условия (например, технологические условия: режим тепловой обработки, влажность среды и т.д.). Экспериментальные исследования влияния режима тепловой обработки показывают, что наибольшая величина усадки наблюдается при $T = 40...45$ °C, а минимальные – при $T = 20...25$ и $100...105$ °C. Такое влияние температуры объясняется более полным протеканием реакции отвержде-

ния (при $T = 20 \dots 25$ °С) или физическим наполнением материала частицами отвердителя вследствие быстрого испарения воды (при $T = 100 \dots 105$ °С).

Изменение структуры модели, составленной из коротких стержней ($h_0/l_0 = 0,05$), приводит к уменьшению параметров $h/l < h_0/l_0$ и, следовательно, создаёт условия для увеличения усадки. Такие условия возникают при введении дисперсных фаз, частицы которых сжимают образующиеся нити гидросиликатов бария (стержни становятся тонкими) и увеличивают расстояние между узлами за счёт повышения общего объёма смеси (стержни становятся длинными) (табл. 3). Это вызывает внутренние напряжения в структуре гидросиликатов бария, что подтверждается данными рентгенофазового анализа (табл. 4). Дальнейшее наполнение вследствие физического заполнения объёма пустот между продуктами взаимодействия способствует снижению усадки композитов.

Т а б л и ц а 3
Значения линейной усадки жидкостекольных связующих, отверждённых хлоридом бария

Вид дисперсной фазы	Объёмная степень наполнения	Значения коэффициентов L_{max} , %
Сурик свинцовый	0,29	0,99
	0,31	0,50
	0,32	0,47
	0,35	0,26
Борат цинка	0,16	0,72
	0,18	0,44
	0,20	0,36
	0,21	0,20
Смесевой наполнитель	0,35	0,26
	0,37	0,24
	0,38	0,22
	0,39	0,21

Т а б л и ц а 4
Значения межплоскостных расстояний и интенсивностей для гидросиликатов бария

Соединение	d_0 , Å	Объёмная степень наполнения					
		0,27		0,35		0,41	
		Δd , Å	I , %	Δd , Å	I , %	Δd , Å	I , %
$Ba_2[SiO_2(OH)_2]_2$	3,790	0,012	16,72	0,016	12,75	0,016	13,91
	3,677	–	–	0,015	7,38	0,011	13,57
	2,339	0,014	18,04	0,015	15,08	0,016	14,24
	1,993	–0,003	22,02	–0,003	16,81	–0,002	10,58
$Ba_5[Si_4O_{12}](OH)_2$	3,227	–0,029	9,33	–	–	0,015	6,33
	1,290	–0,053	4,37	–0,009	4,73	0,008	3,72
	1,254	–0,008	14,78	–0,008	13,59	–0,003	7,43
$BaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$	3,730	0,011	18,12	0,019	10,85	0,012	13,74
	2,610	–0,001	7,22	–0,001	5,58	–0,004	7,37
	1,830	0,005	19,27	–	–	0,010	3,91
	1,260	–0,002	14,78	–0,002	13,59	0,003	7,43

Таким образом, установлена модель влияния степени наполнения и условий отверждения на усадочные деформации дисперсно-наполненных жидкостекольных композитов, которая описывает изменения строения жидкостекольного вяжущего. Показано влияние количества наполнителя на структуру образующейся сетки. Установлено, что при введении дисперсных фаз наблюдаются формирование более плотной сетки гидросиликатов бария, состоящей из более тонких нитей, а также заполнение

объёма пустот между нитями продуктов отверждения частицами наполнителя. Эти конкурирующие процессы доминируют при различных степенях наполнения: при малом количестве наполнителя преобладает процесс формирования более плотной сетки, состоящей из тонких нитевидных продуктов, поэтому по сравнению с жидкостекольным вяжущим такие композиты имеют большую усадку. При более высоких степенях наполнения вследствие заполнения объёма пустот частицами наполнителя такие материалы обладают существенно меньшей усадкой.

Полученные результаты моделирования подтверждаются экспериментальными данными по влиянию количества отвердителя или дисперсной фазы на усадку жидкостекольных строительных материалов, отверждённых хлоридом бария.

Список литературы

1. Королев, Е.В. Выбор отвердителя для радиационно-защитных композиционных материалов на основе жидкого стекла [Текст] / Е.В. Королев, А.Н. Гришина // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы II всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Пенза: ПГУАС, 2007. – С. 202–204.
2. Гришина, А.Н. Структурообразование и свойства композиции «жидкое стекло – хлорид бария» для изготовления радиационно-защитных строительных материалов [Текст] / А.Н. Гришина, Е.В. Королев // Архитектура и строительство: научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – № 4(16). – С. 70–77.

УДК 541.182.45

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Вилкова Наталья Георгиевна,

доктор химических наук,
профессор кафедры «Химия»
Адрес: 440046, г. Пенза, ул. Мира, д.18, кв. 1
Тел.: 8-8412-42-05-02

Еланёва Светлана Ивановна,

ассистент кафедры «Химия»
Адрес: 440018, г. Пенза, ул. Карпинского,
д.95-Б, кв. 1
Тел.: 8-8412-42-05-02

Кругляков Петр Максимович,

доктор химических наук, профессор
кафедры «Химия»
Адрес: 440061, г. Пенза, ул. Герцена,
д.46, кв.21
Тел.: 8-8412-42-05-02

E-mail: kpyotr10@pguas.ru

Дорчина Ольга Викторовна,

лаборант
Адрес: 440000, г.Пенза, ул. Киселева, 22

Penza State University of Architecture and Construction

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

Vilkova Natalya Georgievna,

Doctor of Science in Chemistry,
Professor of the department «Chemistry»
Address: 440046, Penza, 18, Mira St., ap. 1
Tel.: 8-8412-42-05-02

Elaneva Svetlana Ivanovna,

Assistant of the department «Chemistry»
Address: 440018, Penza, 95B,
Karpinskaya St., ap.1
Tel.: 8-8412-42-05-02

Kruglyakov Petr Maksimovich,

Doctor of Science in Chemistry, Professor
of the department «Chemistry»
Address: 440046, Penza, 46,
Gertzen St., ap.21
Tel.: 8-8412-42-05-02

E-mail: kpyotr10@pguas.ru

Dorchina Olga Victorovna,

laboratory assistant
Address: 440046, Penza, 22, Kiselev St.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПЕН, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Н.Г. Вилкова, С.И. Еланёва, П.М. Кругляков, О.В. Дорчина

Исследовано влияние структурообразования в дисперсионной среде на устойчивость пен, стабилизированных частицами кремнезема и гидроксида алюминия. Показана взаимосвязь между физико-химическими характеристиками твердых частиц (краевой угол, дисперсность) и дисперсионной среды (напряжение сдвига и пластическая вязкость) и временем жизни пены.

Ключевые слова: пены, твердые частицы, структурообразование.

INFLUENCE OF THE STRUCTURE-NET IN THE CONTINUOUS PHASE OF THE FOAM STABILIZED BY SOLID PARTICLES ON THE FOAM PROPERTIES

N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, P.M. Kruglyakov, O.V. Dorchina

Influence of the structure-net in the continuous phase of the foam stabilized by solid particles was investigated. Relation between physico-chemical characteristics of solid particles (contact angle, dispersity) and dispersion phase (yield stress and plastic viscosity) and foam's lifetime was observed.

Keywords: foams, solid particles, structure-net.

Пену с жидкой дисперсионной средой используют для разнообразных целей. Предъявляемые к ней требования зависят от ее назначения. Стабилизаторами пены обычно являются коллоидные ПАВ и полимеры, а устойчивость и разнообразные свойства определяются главным образом свойствами тонких пленок, разделяющих пузырьки газа. Свойства таких пленок подробно обсуждаются в ряде монографий и обзоров [1–4].

В дополнение к жидкой (раствору ПАВ) и газовой фазам пена может содержать твердые частицы, которые оказывают большое влияние на синерезис и устойчивость пены. Примером таких систем являются флотационные пены, жидкие пенобетонные и пенополимерные дисперсные системы, пены, образующиеся в сульфатном производстве целлюлозы из черного щелока, в битумном производстве и др. [3].

Влияние твердых частиц на синерезис и устойчивость может быть разнообразным в зависимости от размера частиц, их смачиваемости и концентрации ПАВ [5, 6].

Так, исследование пены, содержащей диоксид кремния (аэросилы 175, 300 и 380) и сажу, показало [5], что при малых концентрациях ПАВ наличие частиц сильно ускоряет синерезис вследствие адсорбции ПАВ на частицах, снижения концентрации ПАВ в растворе и увеличения поверхностного натяжения, но увеличивает устойчивость, а при больших концентрациях ПАВ наблюдается слабое ускорение синерезиса и увеличение устойчивости.

Наиболее ранние сведения о влиянии степени гидрофобности частиц на устойчивость пены имеются в работах Мокрушина С.Г. (1950) [1] и Шкодина А.М. (1952) [1], а во флотационных пенах – в работе Лившица А.К. и Дуденкова С.Д. (1954) [1]. Подробный обзор этих исследований можно найти в монографии Гаррета [6], который показал, что мелкие частицы тефлона (5–40 мкм) являются эффективным пеногасителем при контакте с пеной. Детальное рассмотрение механизмов разрушения пены и пенных пленок гидрофобными частицами содержится также в обзорных работах Круглякова П.М. [7] и Денкова Н. [8].

Первые сведения о возможности получения устойчивой пены, стабилизированной некоторыми коагулированными золями в присутствии электролитов, были опубликованы еще в 1953 г. Шкодиным А.М. и Шапошниковой Л.Д. [9].

Авторы [9] установили, что золи гидроксида алюминия, хрома и меди в некоторых случаях образуют очень устойчивые пены со временем жизни более 20 сут. В частности, такая пена получалась, когда в качестве электролита использовали салицилат или бензоат натрия. Отметим, что эти поверхностно-активные вещества сами по себе не способны формировать пену с высокой устойчивостью. Авторы [9] основной причиной стабилизации считали способность золь образовать сложные комплексные соединения. Однако, как следует из этой работы, главной причиной является образование гидрофобных агрегатов, возникающих (или адсорбирующихся) на поверхности раздела фаз и структур внутри дисперсионной среды.

Однако существенный прогресс в получении устойчивых пен, стабилизированных твердыми частицами, произошел только в 21 в. [10–13] в отличие от получения эмульсий и эмульсионных пленок, стабилизированных твердыми частицами, которые исследовались интенсивно как в 70–80 гг. прошлого века, так и в последние два десятилетия.

В последнее десятилетие удалось получить пены, стабилизированные различными твердыми частицами (кремнезем, латексы, гидрозоли и др.) с добавкой ПАВ-модификаторов или без них [10–15].

Помимо исследования частиц сферической формы, в работе [16] показано, что частицы полимеров являются эффективными стабилизаторами пены даже в отсутствие добавок.

В таких пенах удается практически полностью остановить процесс синерезиса пены и диффузионный перенос газа и увеличить почти неограниченно время их жизни.

Предполагают, что их уникальные свойства объясняются большой энергией адгезии частиц к поверхности раздела жидкость-газ, однако одного этого свойства недостаточно для получения устойчивой пены.

В ряде работ [10, 11] отмечается, что на устойчивость таких пен влияет образование тиксотропных гелей, но реологические свойства дисперсионной среды таких пен (напряжение сдвига и вязкости) практически не исследованы.

Напряжение сдвига измерено в работе [17], где пена получена из золя кремнезема, однако при каких реологических характеристиках получаются наиболее устойчивые пены, не выяснялось. Для получения и исследования таких пен необходимо установить пределы измерения реологических характеристик в зависимости от краевого угла и степени агрегирования, а также влияние методов генерирования (встряхивание, взбивание и др.) на пенообразование и устойчивость пен.

Кроме того, в случае получения агрегативно устойчивых пен вообще неясно, какие параметры следует использовать для оценки их устойчивости, поскольку при отсутствии внешних воздействий (испарение, создание центробежного поля перепада давлений в жидкой фазе) они могут существовать неограниченное время.

Целью данного исследования является изучение влияния степени гидрофобности и концентрации частиц на процесс структурообразования в пене и ее устойчивость.

Для стабилизации пен использовали аэросил с удельной поверхностью $380 \text{ м}^2/\text{г}$ и размером частиц 12 нм. Частицы аэросила агрегировали в исходной суспензии (средний размер образующихся агрегированных частиц был равен 3–30 мкм). В качестве гидрофобизаторов частиц использовали гексилламин (ч.д.а.; Merck). Для увеличения электропроводности пены и пенных пленок добавляли хлорид натрия (в количестве 0,1 моль/л) в исходную суспензию. Для стабилизации пен использовали также свежеосажденный гидроксид алюминия, который получали действием 2М NaOH (ч.д.а.; Merck) на 3–10 %-й раствор сульфата алюминия.

Определение поверхностного натяжения

Поверхностное натяжение определяли следующим образом:

а) с помощью платиновой рамки (размером $2 \times 2 \text{ см}$), прикрепленной к торсионным весам (VT-500);

б) с помощью прибора Ребиндера.

Определение краевых углов

Краевые углы θ_v определяли в кварцевой кювете с помощью стеклянного шарика радиусом R , равным 4,9 мм, расположенного на границе раздела фаз. Стеклянный шарик был покрыт аэросилом. Косинус краевого угла рассчитывали по формуле

$$\cos \theta = (R - H)/R,$$

где H – высота погружения шарика в воду (определяли катетометром КМ-6 с точностью 0,01 мм).

Использовали также метод определения краевого угла формированием пузырька газа у поверхности гидрофобизованной стеклянной пластины.

Получение пен и их исследование

Пены получали:

а) добавлением при помешивании небольших порций аэросила к воде;

б) в полученную суспензию по каплям добавляли гексилламин и встряхивали с помощью шейкера до образования пены.

Пены, стабилизированные гидроксидом алюминия, получали прибавлением к сульфату алюминия масляной кислоты с последующим добавлением NaOH (2М) до $\text{pH}=4,5 \dots 4,8$. Пену получали встряхиванием.

Объемную пену высотой 2 см и тонкие слои (2–3 мм), стабилизированные твердыми частицами, исследовали с помощью метода FPDT [3] (в ячейках с пористым стеклянным фильтром или на пористой пластине под действием приложенного перепада давления ΔP).

Исследование пленок, стабилизированных твердыми частицами

Кондуктометрический метод использовали для исследования кинетики утончения пенных пленок и их устойчивости. Пленку (площадью $0,1 \text{ см}^2$) формировали в отверстии пористой стеклянной пластины, которую подключали к емкости с пониженным давлением. Изучали также вертикальные пенные пленки диаметром 4,8 мм, сфор-

мированные на круглой платиновой рамке. Изменение толщины пленки при ее утоньшении рассчитывали по формуле [3]:

$$\frac{d(1/h^2)}{d\tau} = \frac{4\Delta P}{3\eta^2},$$

где η – вязкость дисперсионной среды.

Определение напряжения сдвига

Напряжение сдвига определяли методом тангенциального смещения рифленой металлической пластины, закрепленной посредством металлической нити с коромыслом торозионных весов. Пластину погружали в исследуемую суспензию на 10 минут. Сообщая пластинке различные нагрузки, фиксировали смещение пластины с помощью катетометра. Напряжение сдвига определяли по формуле

$$\tau = P/2S,$$

где P – усилие, необходимое для возвращения пластины в исходное состояние (высота фиксируется катетометром); S – площадь пластины.

Вязкость определяли, измеряя скорость осаждения стеклянного шарика в суспензии:

$$\eta = (2r(\rho - \rho_0) \cdot g) / 9v,$$

где r – радиус шарика; g – гравитационная постоянная; v – скорость движения шарика; ρ , ρ_0 – плотности шарика и жидкой фазы соответственно.

Изменение степени гидрофобизации пенных пузырьков и значения краевых углов из суспензий свежесожденного ($pH=4,5...5$) гидроксида алюминия при увеличении концентрации масляной кислоты изучены ранее в работе [18]. Установлено, что увеличение концентрации масляной кислоты от 0,6 до 3,5 % при постоянной концентрации сульфата алюминия, равной 3 %, приводит к увеличению краевых углов от 45,5 до 58,6°.

Как видно из рис.1, возрастание краевого угла от 45,5 до 58,6° соответствует изменению соотношения массового содержания масляной кислоты (МК) к сульфату алюминия (ALS) от 0,2 до 1,16 и росту устойчивости пен. Более высокие (90 и 93°) значения краевых углов получены в опытах при меньших концентрации ALS (от 0,05 до 0,3 %) и неизменной концентрации масляной кислоты, равной 0,3 %. Отношение МК:ALS в этих опытах изменялось от 3 до 6. Однако тонкие слои пен указанного состава были неустойчивыми (разрушались практически полностью в течение 30 мин даже при малых перепадах давления). Уменьшение устойчивости связано с уменьшением капиллярного давления в пене при повышении степени гидрофобизации твердых частиц.

Аналогичные зависимости получены для суспензий состава гексилламин:кремнезем при изменении концентрации твердой фазы от 0,6 до 6 %. В частности, при увеличении концентрации гексилламина от 20 до 50 ммоль/л в суспензии кремнезема, равной 2 %, наблюдали изменение от 20 до 50° значений краевых углов и увеличение устойчивости пены.

В указанных опытах соотношение гексилламин:кремнезем изменялось от 0,1 до 0,25. Более высокие значения (до 81 и 90°) краевых углов получены в суспензиях, содержащих 0,6 % и 1 % SiO_2 при увеличении соотношения гексилламин:кремнезем. В частности, значения краевых углов 81,5° и 90° соответствуют соотношениям гексилламин: SiO_2 , равным 0,67 и 0,4. Пены, полученные из суспензий указанного состава и при высоких значениях краевых углов, также не были устойчивыми.

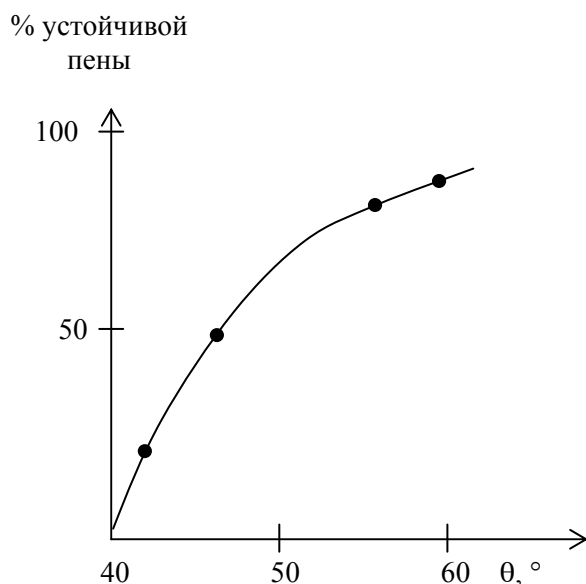


Рис.1. Устойчивость пены, полученной из суспензии состава ALS:МК при увеличении гидрофобизации твердых частиц.

Концентрация ALS в исходной суспензии 3 %, точкам на графике соответствуют следующие концентрации МК: 0,6 %; 1,2 %; 2,5 %; 3,5 %

Дальнейшие исследования были направлены на изучение устойчивости пенного слоя различной высоты как в гравитационном поле, так и под действием приложенных перепадов давления.

Для оценки устойчивости в гравитационном поле пены, полученные встряхиванием, изучали в закрытых цилиндрах для исключения влияния испарения. Установлено, что пены с содержанием кремнезема 6 % (масс.) не выделяли жидкости в отсутствие каких-либо внешних воздействий, в то время как в пенах с содержанием менее 4 % сразу после получения наблюдается вытекание некоторого избыточного количества жидкости.

Пены с содержанием кремнезема 2 % и гексилamina 18–55 ммоль/л живут более 2 мес. при условии отсутствия каких-либо внешних воздействий. Увеличение концентрации гексилamina приводит к увеличению гидрофобности поверхности агрегатов частиц аэросила и росту краевого угла.

Аналогичные зависимости получены для суспензий с содержанием твердой фазы 0,6–6 %. Пены с содержанием твердых частиц менее 0,3 % получить не удалось, что вызвано, вероятно, недостаточным количеством частиц для стабилизации пузырьков газа.

Дальнейшее увеличение концентрации гексилamina в 2 %-х суспензиях кремнезема приводит к снижению устойчивости пены. Так, при увеличении концентрации гексилamina более 60 ммоль/л время жизни пен снижается до 2 сут, а при дальнейшем росте концентрации (более 95 ммоль/л) пены разрушаются мгновенно. Для пен, полученных из более концентрированных суспензий, например 4 % SiO_2 , при увеличении концентрации гексилamina более 65 ммоль/л наблюдается не уменьшение времени жизни системы, а переход пены в гель, который в гравитационном поле живет сколь угодно долго. Но при дальнейшем увеличении количества гидрофобизатора (для 4 % > 120 ммоль/л) вязкость системы начинает снижаться, и в результате образуется подвижная суспензия, при встряхивании которой получается объемная, но быстроразрушающаяся пена.

Для выяснения причин уменьшения устойчивости пен (уменьшения времени жизни пен) с увеличением концентрации гидрофобизатора при постоянном содержании кремнезема мы определили размеры агрегатов частиц. Частицы аэросила агрегированы в исходном состоянии, и полидисперсные агрегаты присутствуют во всех дисперсиях аэросила независимо от краевого угла. Так, для 2 %-го SiO_2 $R_{\text{арп}} = 3...32$ мкм при концентрации гексилamina 18–56 ммоль/л. Но увеличение концентрации гексил-

мина более 60 ммоль/л приводит к резкому росту радиуса агрегатов до 100 мкм и более (рис. 2).

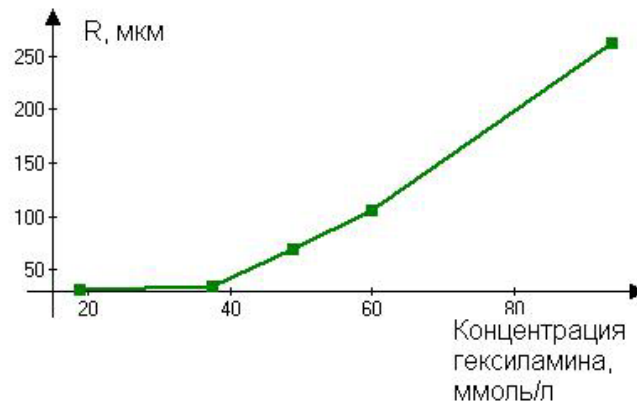


Рис.2. Зависимость радиуса агрегатов твердых частиц от концентрации гексилamina в суспензии кремнезёма ($w \% = 2 \%$)

Такие крупные агрегаты уже не могут «закрепиться» на поверхности пузырьков и оседают под действием силы тяжести. Таким образом, при увеличении концентрации гидрофобизатора в соответствии с ростом краевого угла вначале наблюдается рост устойчивости пен, но до определенных значений, выше которых наступает коагуляция твердых частиц. Коагуляция служит причиной отсутствия в исследуемых системах обращения фаз с ростом концентрации гидрофобизатора.

Метод FPDT позволяет дать сравнительную характеристику устойчивости тонких слоев пен, полученных из суспензий различного состава.

На рис.3 представлено изменение устойчивости слоев пены, полученных из суспензии состава: 3 % ALS+МК с массовым содержанием ALS 3 % и добавками масляной кислоты (от 0,6 до 3,5 %), $pH=4,5...5$. Как видно из рис.3, при постоянном и равном 3 % массовом содержании сульфата алюминия и соответственно неизменной концентрации твердых частиц повышение от 0,6 до 3,5 % концентрации масляной кислоты увеличивает устойчивость слоя пены толщиной 2 мм. Наиболее устойчивыми были пены, полученные из суспензий, содержащих 2,5 и 3,5 % масляной кислоты (отношения МК:ALS равны 0,83 и 1,17). Через 30 мин разрушалось 20 и 15 % пенного слоя соответственно.

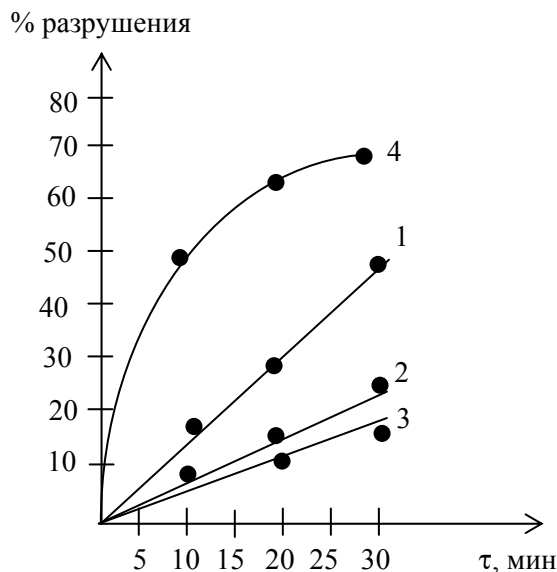


Рис. 3. Устойчивость слоев пены высотой 2 мм, полученных из 20 мл 3 %-го $Al_2(SO_4)_3$ с добавлением масляной кислоты:

1 – 1,2 %; 2 – 2,5 %; 3 – 3,5 %; 4 – 0,6 %.

Приложенный перепад давления равен 7 кПа

Уменьшение объемной доли жидкости в дисперсионной среде является следствием нескольких процессов: внутреннего разрушения, структурообразования и вытекания свободной жидкости в процессе синерезиса. Изменения кратностей в пенах, полученных из суспензий, содержащих 0,6 % аэросила, 5 ммоль/л NaCl, гексилamina в количестве 41,36 ммоль/л и 0,3 % масляной кислоты + 20 мл 0,3 % сульфата алюминия, $pH=4,5$ при приложенных к жидкой фазе пены (высотой 2 см) перепадах давления $\Delta P = 2$ кПа и 3 кПа, представлены на рис.4.

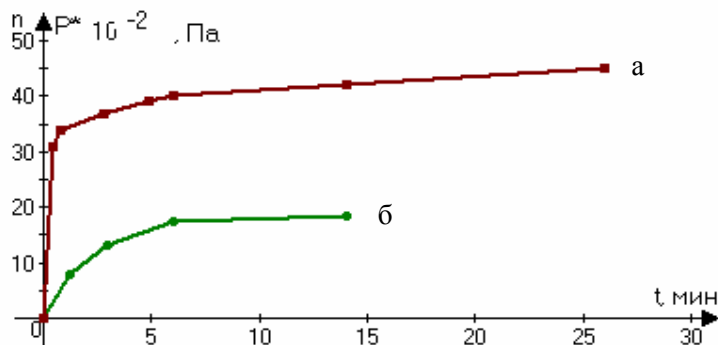


Рис.4. Кинетика изменения кратности в пене, полученной из суспензии:
 а – 0,6 % аэросила и 41,36 ммоль/л гексилamina; приложенный $\Delta P = 2$ кПа;
 б – 0,3 % МК+ 20мл 0,3 %-го сульфата алюминия $pH=4,5$, $\Delta P=3$ кПа, $H=2$ см

Как видно из приведенного рисунка, вытекание дисперсионной среды (осушение пены) в течение 6 мин приводит к установлению кратности в пене, полученной из гексилamina и кремнезема, равной 40, и структурированию пенного слоя. Дальнейшее «осушение» пены затруднено в результате изменения вязкости дисперсионной среды и формирования устойчивой структуры (подобной гелю). Установлено также, что в течение 6 мин (к началу гелеобразования) в пене устанавливается давление, соответствующее приложенному перепаду давления, равному 2 кПа.

Отметим, что в течение 2 ч разрушалось 30 % высоты слоя пены, полученной из 0,6 % аэросила, 41,36 ммоль/л гексилamina и 5 ммоль/л NaCl. Оставшийся слой пены может существовать неограниченно долго.

Кинетика изменения кратности в пене, полученной из суспензии, содержащей 0,3 % МК и 0,3 % ALS, представлена на рис.4,б. Отметим, что изменение кратности пены высотой 2 см в течение 10 мин не сопровождалось структурообразованием. Дальнейшее (более 15 мин) осушение пены отмечено структурированием дисперсионной среды и образованием геля. Более медленное (в течение 16 мин) изменение кратности (от 3 до 16) и замедленное гелеобразование наблюдали в пенах, полученных из суспензии, содержащей 0,1 % ALS и 0,3 % МК и меньшем перепаде давления ($\Delta P=1$ кПа).

Таким образом, установлено, что увеличение (от 1 до 3 кПа) приложенного к жидкой фазе пены давления уменьшает объемную долю дисперсионной среды в пене и способствует достижению некоторой кратности без изменения или с незначительным уменьшением высоты слоя. Дальнейшее увеличение кратности (более 30) в пенах, полученных из 0,3 % ALS и 0,1–0,3 % МК, сопровождается изменением реологических свойств пены с последующим отслаиванием от стенок сосуда, образованием твердой структуры без дальнейшего изменения высоты столба (в пене из 0,1 % ALS+0,3 % МК) или образованием гелеобразной структуры (в пене 0,3 % МК + 20 мл 0,3 %-го ALS).

Исследована устойчивость пен при неизменной концентрации гидрофобизатора (0,3 % МК), но с увеличением от 0,1 до 15 % сульфата алюминия в исходной суспензии.

Установлено, что при концентрации МК = 0,3 % и повышении от 0,1 до 15 массового содержания сульфата алюминия в исходной суспензии (и соответственно при увеличении концентрации твердых частиц гидроксида алюминия) повышается устойчивость пены. В частности, при перепаде давления, приложенном к жидкой фазе пены, равном 10 кПа, процент разрушения слоя площадью 1 см² и высотой 0,2 см,

составляет 45 и 30 % для пен, полученных из суспензий, содержащих 3 и 10 % $Al_2(SO_4)_3$, и постоянной концентрации масляной кислоты, равной 0,3 %.

Наибольшая устойчивость обнаружена для пен, полученных из 15 % ALS и 0,3 % МК. Изменение реологических свойств дисперсионной среды под действием приложенного ΔP приводит к образованию устойчивой структуры : через 30 мин разрушилось (образовались микротрещины) менее 1 % от общей площади слоя. Таким образом, устойчивые пены из масляной кислоты и сульфата алюминия могут быть получены даже при незначительной концентрации гидрофобизатора (то есть при соотношении МК:ALS=1:50). Пена не образуется при значительном превышении массового содержания масляной кислоты в исходной суспензии, например, из суспензии состава 3 % ALS и 25 % МК (соотношение МК:ALS=8:1). Отметим, что пены из гексилamina и кремнезема устойчивы при соотношении компонентов в исходной суспензии, равном 1:4 (0,5 % гексилamina и 2 % SiO_2). При увеличении массового содержания гидрофобизатора до 0,6-0,9 % (при неизменной концентрации SiO_2 , равной 2 %) пена разрушается мгновенно.

При увеличении массового содержания SiO_2 до 4 % и той же концентрации гидрофобизатора наблюдали переход пены в устойчивый гель, не разрушающийся в гравитационном поле сколь угодно долго. Увеличение количества гидрофобизатора до 1,2 % приводит к уменьшению вязкости системы и образованию малоустойчивой пены, что обусловлено ростом (100 мкм и более) радиусов агрегатов аэросила при увеличении концентрации гексилamina от 60 ммоль и более. Такие крупные агрегаты не закрепляются на поверхности пузырьков и оседают под действием силы тяжести. Таким образом, в пенах, полученных из суспензии, содержащей гексилamin и кремнезем, при увеличении концентрации гидрофобизатора (в соответствии с ростом краевого угла) наблюдается рост устойчивости пен лишь до определенных значений, выше которых наблюдается коагуляция твердых частиц.

Для объяснения роста устойчивости полученных из суспензий пен, содержащих гексилamin и кремнезем, от содержания твердой фазы были рассмотрены реологические характеристики исследуемых суспензий.

Суспензии с содержанием кремнезема менее 0,5 % не показывают видимого структурирования, для них напряжение сдвига равно нулю. Из графика (рис.5) видно резкое увеличение τ_c при содержании твердой фазы более 4 %. Напряжение сдвига для 6 % суспензий в 9 раз превышает τ_c для суспензий с содержанием кремнезема 4 % и почти в 40 раз – для 2 % суспензий.

При изменении концентрации гексилamina установлено, что для всех суспензий кремнезема (0,6–6 %) имеется область с максимальным значением напряжения сдвига τ_c (рис. 6), что хорошо согласуется с данными об изменении устойчивости в гравитационном поле и в условиях пониженного давления, приложенного к тонкому слою пен.

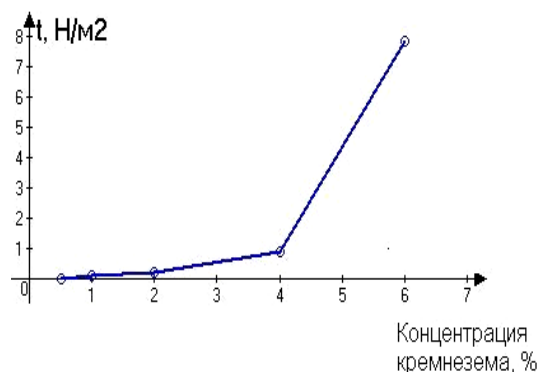


Рис. 5. Изменение напряжения сдвига для суспензий Аэросил-380 + гексилamin в зависимости от концентрации твердой фазы

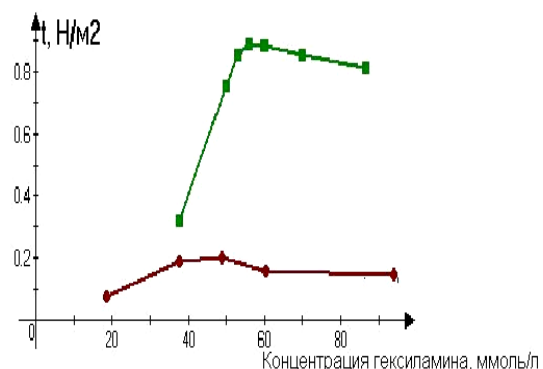


Рис.6. Изменение напряжения сдвига для суспензий Аэросил-380 (■ – 4 %; ● – 2 %) в зависимости от концентрации гексилamina

Напряжения сдвига в дисперсионной среде пены могут отличаться от измеренного для суспензий из-за отсутствия в них поверхностей, контактирующих с воздухом и «адсорбционными» слоями агрегатов частиц. Удобной системой для изучения реологических свойств жидких прослоек, не доступных для исследования в пенах, является изолированная пенная плёнка.

Свободные плёнки были получены из суспензий с содержанием кремнезёма 0,5–6 %. Визуально такие пленки непрозрачные, матовые, неинтерферирующие. За критерий устойчивости принимали время жизни плёнки с момента образования и до прорыва. Область устойчивых изолированных пленок соответствовала краевым углам, при которых были получены устойчивые пены.

На рис.7 представлено изменение электропроводности пленки во времени при самопроизвольном утончении пленки под влиянием гравитации.

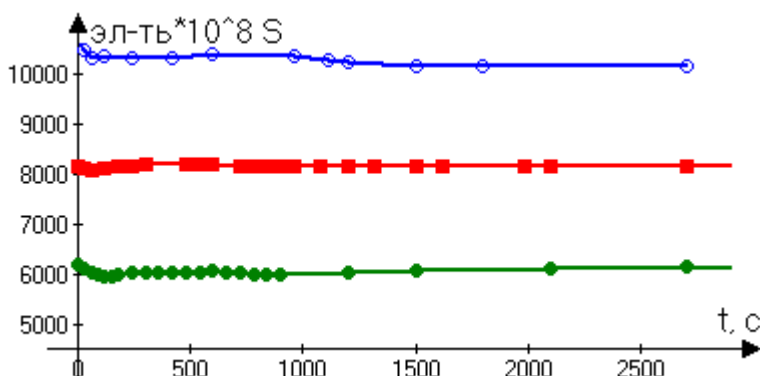


Рис.7. Изменение электропроводности пленки во времени при самопроизвольном утончении пленки под влиянием гравитации

Такие пленки утончались в течение 2 мин до равновесной толщины, которая оставалась практически постоянной. В табл. 1 представлены равновесные толщины пленок. При увеличении содержания твердой фазы увеличивались толщина пленок и время их жизни.

Т а б л и ц а 1

Зависимость толщины пленки от концентрации твердой фазы

Концентрация SiO ₂ , %	Толщина h, мкм	Время жизни, ч	Механизм разрушения
0,5	56		лопнула
1	78		лопнула
2	132	2,5	лопнула
4	155	> 4	не разрушается
6	199	> 4	не разрушается

Устойчивость пенных пленок при приложенном перепаде давлений во всех случаях оказывалась ниже устойчивости пен при таком же качественном и количественном составе фаз. Такая же закономерность наблюдалась при изучении эмульсионных пленок и эмульсий [12].

На рис.8 представлена кривая, характеризующая кинетику утончения пленки при пониженном ΔP, на которой можно выделить два участка:

- А – начало текучести (начало разрушения структуры),
- В – течение жидкости с полностью разрушенной структурой.

При этом плёнки, полученные из суспензий с содержанием кремнезёма ≤ 2 %, в результате утончения лопались при всех ΔP. В пленках с содержанием твердых частиц 4–6 % наблюдалось появление горизонтального участка (рис. 8, участок С), характеризующего переход пленки в твердообразное состояние, её толщина далее менялась незначительно. Дальнейшее утончение таких пленок происходило лишь при

увеличении приложенного ΔP , т.е. при преодолении возросшего напряжения сдвига. В таких пленках в результате утончения возникали тонкие «трещины». При $\Delta P=0,03...0,05$ атм они быстро росли, приводя к растрескиванию всей пленки. При более низких $\Delta P \leq 0,02$ атм пленки продолжали жить медленно утончаясь.

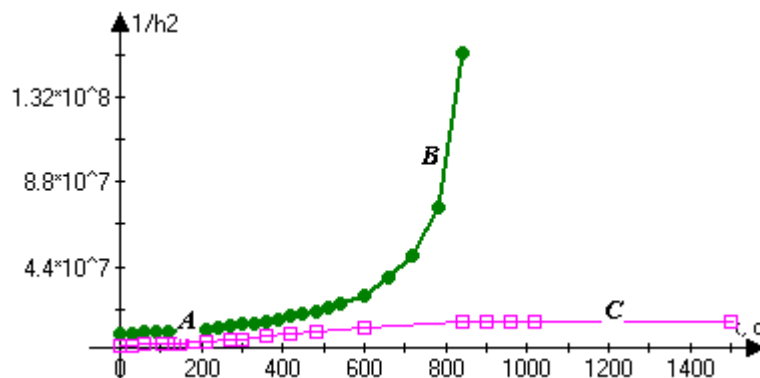


Рис.8. Кинетика утончения пленки при $\Delta P=1$ кПа:

● – 2 % SiO₂; □ – 4 % SiO₂

Зависимости $1/h^2 = f(t)$ для пленок с содержанием твердой фазы 0,5–6 % показали наличие структур в системах с $w\%SiO_2 \geq 1\%$. Вычисленные графически скорости течения жидкости с полностью разрушенной структурой при различных ΔP позволили определить критическое давление, необходимое для полного разрушения структуры в исследуемых пленках (см. рис. 8). Напряжения сдвига τ_c представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Зависимость напряжения сдвига от концентрации твердой фазы

Концентрация SiO ₂ , %	τ_c , Н/м ²
1	1,55
2	19,8
4	91
6	232,7

Зависимости напряжения сдвига от концентрации твердой фазы и концентрации гидрофобизатора, полученные в пленках и в суспензиях, подобны. Но значения τ_c , вычисленные графически для пленок, существенно превышают значения для суспензий из-за наличия в пленках контакта геля с воздухом и адсорбционными слоями частиц.

Во всех суспензиях обнаружено уменьшение поверхностного натяжения (σ), причем имеется узкая область концентраций гидрофобизатора, при которой поверхностное натяжение оказалось ниже по сравнению с поверхностным натяжением в растворе ПАВ без твердых частиц (табл.3).

Т а б л и ц а 3

Поверхностное натяжение в исходных суспензиях и фильтрате

Состав суспензий	Суспензия	Фильтрат	$\Delta\sigma$
2 %SiO ₂ +49mM гексиламина	41,49	46,85	6,69
0,6 %SiO ₂ +25mM гексиламина	49,53	55,55	6,02

Основными результатами данной работы являются:

1. Установлена взаимосвязь между физико-химическими характеристиками твердых частиц (краевой угол, дисперсность) и дисперсионной среды (напряжение сдвига и пластическая вязкость) и временем жизни пены.
2. Для оценки устойчивости использовали создание перепада давления в дисперсионной среде.
3. Рост устойчивости пен, полученных из суспензии гексиламин:кремнезем (при постоянной концентрации кремнезема), наблюдали до определенных значений, выше

которых отмечается коагуляция твердых частиц, что сопровождается уменьшением устойчивости.

4. Для всех суспензий с массовым содержанием кремнезема 0,6-6 % существует область с максимальным значением напряжения сдвига, которая соответствует высокой устойчивости пен при исследовании в гравитационном поле и под действием ΔP .

5. Значения напряжения сдвига, определенные графически для пленок, существенно превышают значения для суспензий из-за наличия в пленках контакта дисперсионной среды с адсорбционными слоями частиц.

Список литературы

1. Кругляков, П.М. Физико-химия черных углеводородных пленок [Текст] / П.М. Кругляков, Ю.Г. Ровин. – М.: Наука, 1978.
2. Kruglyakov P.M. Equilibrium properties of free films and stability of foam and emulsions. Thin liquid films, ed. I.V.Ivanov. Marcel Dekker, 1988.
3. Ekerowa D., Kruglyakov P.M. Foam and foam films. Theory, Experiment, Applications. Elsevier Science, Amsterdam, 1998.
4. Platikanov D., Ekerowa D. Thin liquid films in Fundamentals of Interface and Colloid Science, v.5, ed. J.Luklema, 2005, p.6.1-6.91.
5. Кругляков, П.М. Синерезис и устойчивость пен, содержащих твердую фазу [Текст] / П.М. Кругляков, П.Р. Таубе // Коллоидн. ж., 34 (1972) 228.
6. Garret P.R. The model of action of antifoams in: Defoaming. Theory and Industrial Application. Marcel Dekker, N.Y., 1993 (ed. P.), p.1.
7. Кругляков, П.М. Механизмы пеногасящего действия [Текст] / П.М. Кругляков // Успехи химии, 63 (1994), 493–505.
8. Denkov N. Mechanisms of foam destruction by based antyfoams. Langmuir, 20 (2004) 9463.
9. Шкодин, А.М. Пенообразование в смесях золь гидроокисей металлов и электролитов [Текст] / А.М.Шкодин, Л.Д.Шапошникова // I. Влияние электролитов на вспенивание золь гидроокиси алюминия: труды НИИ химии. ХГУ, 11 (1953) 33.
10. Binks B. Particles as surfactants-similarities and differences. Current Opin. Colloid Interf. Sci., 7 (2002) 21.
11. Gonzenbach U.T., Studart A.R., Tervoort E. and Gauchkler L.J. Stabilization of foams with inorganic colloidal particles. Langmuir, 22, 2006, 10983.
12. Кругляков, П.М. Эмульсии, стабилизированные твердыми частицами: вопросы устойчивости и перспективы использования [Текст] / П.М.Кругляков, А.В.Нуштаева // Региональная архитектура и строительство. – 2006. – №1. – С.107–119 (in Russian).
13. Horozov T. Foams and foam film, stabilised by solid particles. Current Opinion Colloid Interface Science, 13 (2008) 134.
14. Fujii S., Iddon P.D., Ryan A.J. and Armes S.P. Aqueous particulate foams stabilized solely with polymer latex particles. Langmuir, 22, (2006), 7512.
15. Binks B.B. and Horozov T.S. Aqueous foams stabilized solely by silica nanoparticles. Angew. Chem., 44 (2005), 3722.
16. Alargova R.G., Warhadpande D.S., Paunov V.N., Velev O.D. Foam superstabilization by polymer microrods. Langmuir, 20 (2004) 10371.
17. Dickinson E., Ettelate R., Kostakis T. and Murrey B.S. Factors controlling the formation and stability of air bubbles stabilized by partially hydrophobic silica nanoparticles. Langmuir, 2004, v.20, p.8517-8525.
18. Кругляков, П.М. Фундаментальные исследования в Пензенской области: состояние и перспективы [Текст]: материалы научно-практической конференции / П.М.Кругляков, С.И. Еланёва, Н.Г. Вилкова, О.В. Дорчина. – Пенза, 2010. – С.77–80.

УДК 544.77.051.12/.13:544.773.32/.33

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Нуштаева Алла Владимировна,

кандидат химических наук,
доцент кафедры «Химия»
Тел.: 8-8412-42-05-02

E-mail: kpyotr10@pguas.ru

Шумкина Анна Александровна,

кандидат химических наук,
доцент кафедры «Химия»
Тел.: 8-8412-42-05-02

E-mail: kpyotr10@pguas.ru

Кругляков Петр Максимович,

доктор химических наук, профессор
кафедры «Химия»
Тел.: 8-8412-42-05-02

E-mail: kpyotr10@pguas.ru

Penza State University of Architecture and Construction

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

Nushtaeva Alla Vladimirovna,

Candidate of Science in Chemistry, Associate Professor of the department «Chemistry»
Tel.: 8-8412-42-05-02,

E-mail: kpyotr10@pguas.ru

Shumkina Anna Alexandrovna,

Candidate of Science in Chemistry, Associate Professor of the department «Chemistry»
Tel.: 8-8412-42-05-02,

E-mail: kpyotr10@pguas.ru

Kruglyakov Petr Maksimovich,

Doctor of Science in Chemistry, Professor of the department «Chemistry»
Tel.: 8-8412-42-05-02,

E-mail: kpyotr10@pguas.ru

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЕ ЭМУЛЬСИЙ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ТВЕРДЫМИ МИКРОЧАСТИЦАМИ*

А.В. Нуштаева, А.А. Шумкина, П.М. Кругляков

Исследовано влияние структурообразования в дисперсионной среде на устойчивость эмульсий, стабилизированных кремнеземом. В качестве оценки степени структурообразования использованы реологические характеристики дисперсионной среды.

Ключевые слова: эмульсии, твердые частицы, структурообразование.

FORMING OF STRUCTURE-NET IN THE CONTINUOUS PHASE OF EMULSIONS STABILIZED BY SOLID MICROPARTICLES

A.V. Nushtaeva, A.A. Shumkina, P.M. Kruglyakov

The influence of structure-net forming in the continuous phase on the stability of emulsions stabilized by silica was investigated. The rheological characteristics of the continuous phase were used to estimate the extent of structure-net forming.

Keywords: emulsions, solid particles, structure-net forming.

Способность тонко измельченных порошков нерастворимых веществ стабилизировать эмульсии известна еще с начала XX века [1].

Твердые коллоидные частицы присутствуют в качестве стабилизатора в таких эмульсиях, как лаки, типографские краски, битумные эмульсии для дорожных и кровельных покрытий, а также в косметических препаратах и пищевых продуктах (кристаллы жира или льда). Помимо стабилизации, твердые частицы в эмульсионных системах выполняют и дополнительные функции: повышение цветности красок, модификация вязкости и так далее.

* Работа выполнена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

В результате адгезионного взаимодействия частицы порошка собираются («адсорбируются») на межфазной границе вода-масло, образуя прочную структуру, препятствующую коалесценции эмульсионных капель.

По Ребиндеру [2], для образования высокоустойчивых эмульсий необходимо, чтобы межфазные пленки обладали высокой вязкостью и упругостью. Особенно сильным стабилизирующим действием такого рода обладают коллоидные адсорбционные слои, образуемые, например, белками, смолами, липидами и являющиеся своеобразными пленочными (двумерными) лиогелями. Наряду с высокой структурной вязкостью и прочностью, необходимо, чтобы случайное нарушение непрерывности межфазного слоя могло бы быстро «залечиваться» вследствие его подвижности [2].

Хорошие эмульгаторы – это тонкодисперсные, обладающие рыхлой структурой порошки, частично смачиваемые и водой, и маслом, причем порошки с краевым углом $\theta < 90^\circ$ стабилизируют прямые эмульсии (масло в воде – м/в), а с углом $\theta > 90^\circ$ – обратные эмульсии (вода в масле – в/м).

Многие исследователи [3–6] выделяют два основных фактора стабилизации эмульсий твердыми частицами: энергию закрепления частицы на поверхности и капиллярное давление в пленке.

Энергия закрепления («адсорбции») отдельной частицы на поверхности капель зависит от радиуса частицы R_p , краевого угла θ (который образует поверхность вода/масло при контакте с твердой частицей) и межфазного натяжения σ_{ow} на границе вода/масло. Так, энергия переноса сферической частицы из фазы масла на поверхность [3] составит:

$$\Delta G_o = \pi \cdot R_p^2 \cdot \sigma_{ow} \cdot (1 + \cos\theta)^2. \quad (1)$$

Энергия переноса частицы из водной фазы на поверхность [3] равна:

$$\Delta G_w = \pi \cdot R_p^2 \cdot \sigma_{ow} \cdot (1 - \cos\theta)^2. \quad (2)$$

Если краевой угол менее 90° , частица легче перемещается в воду, чем в масло, а для краевого угла больше 90° – наоборот. При полном смачивании частиц водой или маслом ($\theta=0^\circ$ или $\theta=180^\circ$) энергия перемещения в одну из объемных фаз равна нулю, и частицы не удерживаются на поверхности. При $\theta=90^\circ$ частицы в равной степени удерживаются от перемещения как в полярную, так и в углеводородную фазы ($\Delta G_o = \Delta G_w$). Ясно, что с этой точки зрения оптимальные условия стабилизации эмульсий будут создаваться при углах не очень далеких от 90° (при определенных значениях R_p и σ_{ow}).

Второй фактор стабилизации эмульсий твердыми частицами – капиллярное давление P_σ , возникающее в эмульсионной пленке.

При увеличении концентрации дисперсной фазы в гравитационном или центробежном поле сферические капли эмульсий деформируются, и образуется плотная полиэдрическая структура, аналогичная структуре пен. В полиэдрических эмульсиях основным элементом, определяющим устойчивость всей системы, является жидкостная прослойка, разделяющая капли, стабилизированные твердыми частицами, – эмульсионная пленка.

Дальнейшее уточнение жидкой части такой пленки возможно лишь при искривлении поверхности вода/масло в поровом пространстве между частицами, вследствие чего в эмульсионной пленке возникает капиллярное давление [7]:

$$\sigma = (P_2 - P_1) = C' \cdot \sigma_{ow} / R_p, \quad (3)$$

где P_1 – давление в пленке; P_2 – давление в капле, где $C' = C \cdot R_p$ – приведенная кривизна мениска, возникающего в поровом пространстве, σ_{ow} – межфазное натяжение поверхности вода/масло, R_p – радиус частиц

Эмульсия становится неустойчивой, если капиллярное давление в поровом пространстве между частицами стремится к нулю, что будет наблюдаться при краевых углах, близких к 90° , или очень низком межфазном натяжении.

Ряд авторов [8–10] отмечает, что, помимо рассмотренных факторов стабилизации (энергии адгезии частиц к поверхности раздела и капиллярного давления), на устойчивость

эмульсий влияет образование тиксотропных гелей в дисперсионной среде эмульсии, однако связь устойчивости с реологическими свойствами дисперсионной среды в эмульсиях, стабилизированных твердыми частицами, практически не исследована.

В настоящей работе представлены результаты исследований влияния вязкости и напряжения сдвига дисперсионной среды на устойчивость эмульсий и модельных эмульсионных пленок, стабилизированных твердыми частицами.

В качестве эмульгатора использовали следующие виды кремнезема: 1) людокс (Ludox – 41 % золь с диаметром частиц 15 нм); 2) левасил (Levasil – 30 % золь с диаметром частиц 30 нм); 3) аэросил марки А-300 (сухой порошок, агрегированный, диаметр агрегатов до 20 мкм).

Для гидрофобизации поверхности кремнезема использовали цетилтриметиламмония бромид (СТАВ) и гексилламин. В отсутствие твердых частиц гексилламин не способен стабилизировать эмульсии. Растворы СТАВ стабилизируют прямые эмульсии, начиная с концентрации $5 \cdot 10^{-3}$ М, а в присутствии 0.1 М КСl – с концентрации $2 \cdot 10^{-3}$ М. Однако даже при использовании $(2-5) \cdot 10^{-3}$ М растворов для модификации кремнезема концентрация СТАВ в растворе значительно уменьшалась вследствие адсорбции на поверхности твердых частиц.

В качестве электролита применяли хлорид калия.

В качестве фазы масла использовали декан.

Эмульсии получали методом встряхивания и перемешивания миксером жидких фаз. В обоих случаях фазу масла (декан) добавляли к водной фазе по каплям до достижения соотношения объемов 1:1 (объемная доля масла 0,5).

Исследовали устойчивость и электропроводность эмульсий в условиях приложенного перепада давлений ΔP в дисперсионной среде, вследствие чего повышалось капиллярное давление $P_{\sigma} = P_k - P_f$ (где P_k – давление в каплях дисперсной фазы, P_f – давление в пленках дисперсионной среды) [11]. Для этого образец эмульсии помещали на пористый фильтр, предварительно смоченный дисперсионной средой. В воздушном пространстве под фильтром создавали разрежение. Значение пониженного давления под фильтром по сравнению с атмосферным (ΔP) до значений 7 кПа (0,07 атм) измеряли U-образным водным манометром с точностью ± 50 Па, а более высокие давления измеряли образцовым вакуумным манометром с ценой деления 0,5 кПа.

Схемы устройств для исследования устойчивости и электропроводности эмульсий в условиях приложенного перепада давлений (следовательно, повышенного капиллярного давления) изображены на рис. 1.

На рис. 1,а представлена ячейка для исследования тонкого эмульсионного слоя. Небольшое количество эмульсии объемом 0.02–0.2 мл, отмеренное с помощью пипетки с ценой деления 0,002 мл, наносили на фильтр ПОР 1.4 (с диаметром пор 1,4 мкм) и накрывали предметным стеклом. Толщина слоя 1,5 мм достигалась применением стеклянных пластин такой же толщины, обозначенных цифрой 3.

На поверхности фильтра ПОР 1.4 пониженное давление, равное приложенному, по показаниям микроманометра устанавливалось за 10 мин при $\Delta P = 3 \dots 5$ кПа, за 15 мин при $\Delta P = 10$ кПа и за 30 мин при $\Delta P = 20$ кПа.

Так как капли эмульсии при увеличении лучше видны на темном фоне, а поры фильтра не должны забиваться твердыми частицами и маслом, между эмульсией и пористой пластиной помещали черный бумажный фильтр. С помощью микроскопа МПСУ-1 наблюдали за коалесценцией капель в отраженном свете на темном фоне.

Устойчивость эмульсий в отношении коалесценции (время жизни эмульсии) определяли по скорости разрушения общего объема.

Другой тип ячейки (см. рис. 1, б) использовался для исследования объемных эмульсионных слоев (толщиной 2 см) и позволял измерять одновременно приложенное давление и электропроводность эмульсии. Для измерения электропроводности использовали кондуктометр «Эксперт-002» и электроды площадью 1 см^2 . Измерения проводили при содержании 0.1 М КСl в водной фазе эмульсии и температуре 25°C .

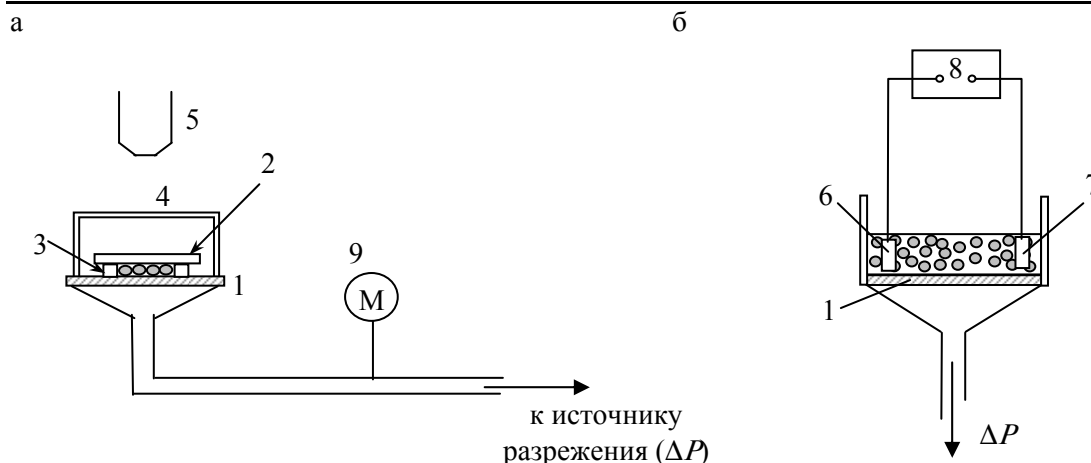


Рис. 1. Схемы устройств для исследования устойчивости и кратности (кондуктометрическим методом) эмульсий в условиях повышенного капиллярного давления:

а – тонкий (двумерный) эмульсионный слой;

б – объемная эмульсия на пористой подложке:

1 – стеклянный или керамический фильтр; 2 – предметное стекло; 3 – стеклянные пластины, регулирующие толщину эмульсионного слоя; 4 – стакан с плоским дном; 5 – микроскоп;

6, 7 – электроды; 8 – кондуктометр; 9 – манометр

Данные эмульсии содержали относительно высокую концентрацию твердого эмульгатора в водной фазе – 5 или 15 % – в отличие от исследованных нами ранее образцов (с содержанием 0,5–3 % кремнезема в воде).

Из измеренной электропроводности ($0,253\text{--}0,426 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ при содержании 0,1 М КСl в водной фазе и при температуре 25 °С) видно, что все полученные эмульсии были прямого типа (м/в) и при объемной доле масла 0,5 (или больше) можно ожидать, что в таких эмульсиях формируются водные пленки между каплями масла.

Эмульсии, полученные из 5 и 15 %-х суспензий людокса и левасила, сразу же после приготовления (в течение минуты) выделяли дисперсионную среду, но оставались устойчивыми в отношении коалесценции в течение не менее 6 мес.

Эмульсии, полученные из 5 %-х суспензий аэросила, модифицированного СТАВ или гексиламином, не выделяли ни воды, ни масла в течение нескольких месяцев, что характерно для эмульсий и пен, полученных из высококонцентрированных суспензий (порядка 50 % по массе) [12]. Таким образом, эмульсии из 5 %-х суспензий аэросила были чрезвычайно устойчивы как в отношении седиментации, так и в отношении коалесценции, и объемная доля масла в них сохранялась равной $\sim 0,5$.

Причем даже в очень разбавленной эмульсии (при объемной доле масла 0,06), полученной из аэросила с гексиламином, не наблюдалось концентрирования капелек на поверхности, как в случае меньшей концентрации аэросила. Подобное поведение эмульсий связано с реологическими свойствами водной фазы (см. таблицу).

Реологические свойства суспензий [13]. Концентрация твердых частиц во всех образцах (кроме № 3) 5 % в пересчете SiO_2 . Содержание хлорида калия 0,1 М

№ п/п	Система	Напряжение сдвига τ , N/m^2	Пластическая вязкость η , Па·с
1	людокс + 10^{-4} М СТАВ	0,0441	0,0602
2	левасил + 10^{-4} М СТАВ	0,0417	0,0570
3	15 %-й левасил + $5 \cdot 10^{-4}$ М СТАВ	0,302	0,0741
4	аэросил + 10^{-4} М СТАВ	0,809	0,1758
5	аэросил + $2 \cdot 10^{-4}$ М СТАВ	0,809	0,0881
6	аэросил + 0,07М гексиламин	2,182	0,6456

Как видно из таблицы, для всех образцов вязкость была значительно больше, чем величина, рассчитанная из концентрации по уравнению Эйнштейна $\eta = \eta_0(1+2,5\phi)$, где η_0 – вязкость воды, а ϕ – объемная доля твердой фазы [14]. Хотя объемная доля невелика (0,023 для 5 %-й суспензии), но силы взаимодействия между частицами, а также гидратация и структурообразование в значительной мере повышают вязкость системы.

Для суспензий аэросила напряжение сдвига на 1–2 порядка больше, чем для суспензий людокса и левасила при одинаковой концентрации SiO_2 . Следовательно, частицы аэросила формировали более разветвленные и прочные структуры. Об этом же свидетельствует визуальное сравнение образцов. Чем больше размер агрегатов частиц (при одинаковой концентрации SiO_2), тем больше мутность и объем осадка. Так, образцы № 1,2 (5 % SiO_2) представляют собой полупрозрачный голубоватый опалесцирующий золь, который остается кинетически устойчивым даже после добавления ПАВ-модификатора и электролита. Хотя при этом повышается мутность золя, часть частиц образует крупные агрегаты и оседает на дно, но объем осадка очень мал (порядка 1–2 мл на 50 мл общего объема). Образец № 3 (15 % SiO_2) – более мутный.

Образцы № 4–6 представляют собой молочно-белые суспензии. При отстаивании в течение 24 ч частицы оседают на дно, причем объем осадка (примерно 48 мл) практически равен общему объему (50 мл). Частицы аэросила сильно агрегированы уже в порошкообразном состоянии, образуют устойчивые рыхлые структуры, которые при диспергировании в воде связывают большие объемы растворителя.

Кроме того, образец № 6 (аэросил + гексиламин) образует тиксотропный гель в течение нескольких часов в закрытом сосуде и в течение 10–15 мин – на воздухе. Следовательно, и в эмульсии, полученной из этого образца, дисперсионная среда имеет гелеобразную структуру.

Другие суспензии представляли собой структурированные жидкости.

Таким образом, установлено, что структурообразование в водной суспензии коррелирует с образованием устойчивых эмульсий. Высокая вязкость водной фазы препятствует свободному перемещению капель масла в ней, а при более высокой концентрации масла препятствует утончению водных прослоек между каплями.

Исследовалась возможность вытекания дисперсионной среды из эмульсий, не выделяющих ни воду, ни масло в гравитационном поле (стабилизатор – 5 %-й аэросил) при создании перепада давлений в дисперсионной среде.

На рис.2 показано изменение электропроводности эмульсии м/в в условиях приложенного перепада давлений ΔP . Данная эмульсия исследовалась спустя некоторое время после приготовления (3 дня), достаточное для окончания процесса структурообразования.

Как видно из рисунка, электропроводность эмульсии под влиянием ΔP уменьшается, из чего следует, что пониженное давление создает течение дисперсионной (водной) среды, преодолевая напряжение сдвига, в то время как без давления данные эмульсии не выделяли водную фазу. Вытекание среды (синерезис) вызывает утончение водных пленок между каплями, еще больше повышая вязкость внутренней фазы пленки. Таким образом, утончению пленок препятствуют, с одной стороны, повышенная вязкость, а с другой, – капиллярное давление, возникающее при искривлении поверхности вода/масло между твердыми частицами.

На рис.2 цифры 1–5 указывают величину ΔP (кПа). Стабилизатор – 5 %-й аэросил, модифицированный 0,07 М гексиламином. Толщина слоя эмульсии 2 см. Электропроводность эмульсий была измерена при содержании 0,1 М КСl и температуре 25° С.

После сброса $\Delta P = 1...3$ кПа электропроводность эмульсионного слоя восстанавливалась до исходного значения в течение 5 мин. И только после $\Delta P = 4...5$ кПа не происходило полного восстановления электропроводности, что говорит о нарушении структуры внутренней гелевой среды эмульсионных пленок при таком давлении.

В объемных эмульсиях не успевает устанавливаться давление, равное приложенному. Чтобы уменьшить время вытекания, исследовали тонкие эмульсионные слои (рис.3). Толщина слоя эмульсий составляла 1,5 мм, стабилизатор – 5 %-й аэросил, модифицированный 0,07 М гексиламином (1), 10^{-4} М СТАВ (2), $2 \cdot 10^{-4}$ М СТАВ (3). Время жизни таких эмульсий уменьшалось при возрастании приложенного (и соот-

ветственно капиллярного) давления. Эмульсия из аэросила с гексиламином была более устойчива как с давлением ΔP , так и без него. Более высокая устойчивость этой эмульсии связана со степенью гидрофобности частиц и гелеобразованием среды.

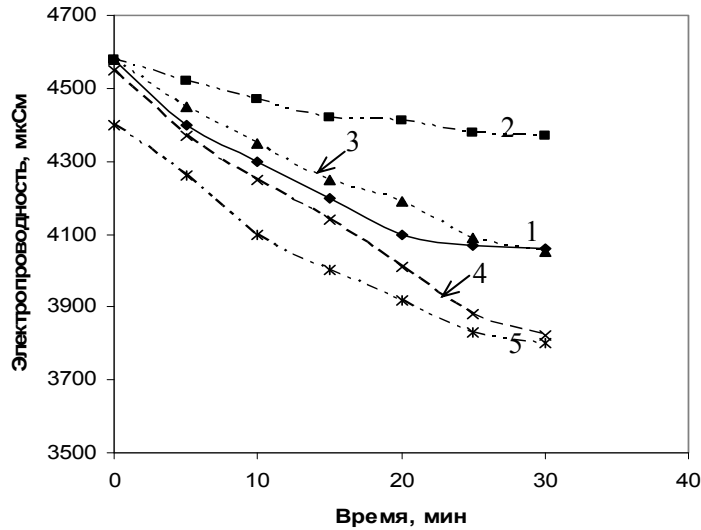


Рис.2. Зависимость электропроводности объемной эмульсии в течение времени от приложенного перепада давлений ΔP на фильтре ПОР 40

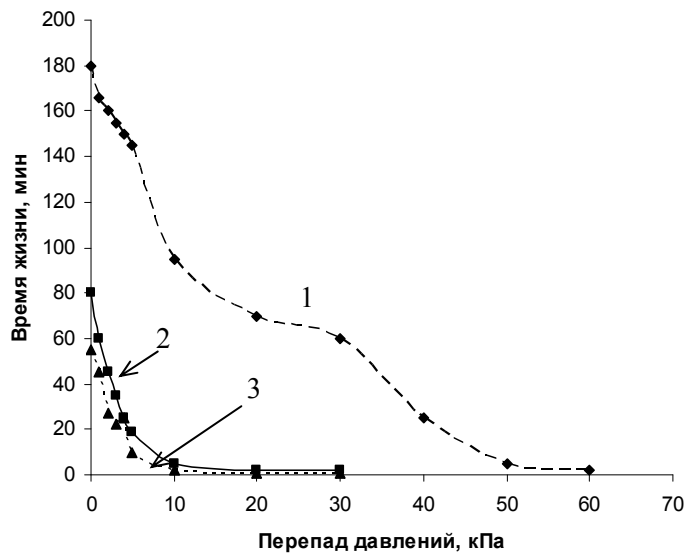


Рис.3. Зависимость времени жизни тонкого эмульсионного слоя от приложенного перепада давлений ΔP на фильтре ПОР 1.4

Гидрофобность аэросила, модифицированного СТАВ, можно оценить по отношению исходной концентрации СТАВ к общей поверхности кремнезема (частицы аэросила агрегированы, средний радиус агрегатов – 100 нм) [15]. Для концентрации 10^{-4} М СТАВ и 5 %-го аэросила угол отекания воды $\theta_w=10^\circ$ и угол отекания масла $\theta_o=75^\circ$ (равновесный угол $\theta_e=48^\circ$). Для $2 \cdot 10^{-4}$ М СТАВ и 5 %-го аэросила – $\theta_w=15^\circ$ и $\theta_o=80^\circ$ ($\theta_e=55^\circ$). Это нижняя граница стабилизации прямых эмульсий [15, 16].

Для аэросила, модифицированного гексиламином, краевые углы не определялись. При формировании межфазной поверхности из аэросила с гексиламином наблюдалось перераспределение агрегатов кремнезема между водной фазой и фазой масла, т.е. частицы самопроизвольно переходили через межфазную поверхность из воды в масло. Это возможно при краевом угле θ_e порядка 90° или несколько больше. Например, подобное поведение проявлял аэросил, модифицированный СТАВ до углов $\theta_w=53^\circ$ и $\theta_o=116^\circ$ ($\theta_e=85^\circ$): агрегаты твердых частиц, высушенные и диспергированные в масле, самопроизвольно переходили в воду.

Следовательно, можно предположить, что в случае аэросила, модифицированного гексиламином, равновесный краевой угол θ_e был чуть больше 90° (порядка 95°). Однако эмульсия получалась прямая, то есть обращения фаз не наблюдалось. Это можно объяснить способом получения эмульсии: к водной фазе по каплям добавляли фазу масла, поскольку при краевых углах θ_e , близких к 90° , и достаточном гистерезисе ($0^\circ < \theta_w < 90^\circ$ и $90^\circ < \theta_o < 180^\circ$) можно получить эмульсию типа м/в, добавляя капли масла в воду, или типа в/м, добавляя воду в фазу масла.

Таким образом, повышение гидрофобности частиц, с одной стороны, снижает максимальное капиллярное давление в пленках, с другой стороны, способствует образованию твердообразного геля с повышенными значениями вязкости и напряжения сдвига. Такая гелеобразная дисперсионная среда препятствует утончению эмульсионных пленок, что обеспечивает устойчивость эмульсий.

В результате исследования сделаны выводы. Чрезвычайно устойчивые (как в отношении коалесценции, так и в отношении седиментации) эмульсии получены только из грубодисперсных, в большой степени агрегированных частиц аэросила, в то время как эмульсии из частиц коллоидного размера вели себя так же, как и системы с меньшей концентрацией стабилизатора. Устойчивость эмульсий объясняется образованием разветвленной пространственной прочной сетки-структуры, включающей «адсорбционные» слои частиц. Вероятно, именно структурирование является главной причиной того, что данные эмульсии не выделяют ни воды, ни масла.

Список литературы

1. Pickering S.U. Emulsions, J. Chem.Soc. 1907. V.91. P.2001-2002.
2. Ребиндер, П.А. Вступительная статья [Текст] / П.А. Ребиндер, К.А. Поспелова // Клейтон В. Эмульсии. Их теория и технические применения. – М.: Иностранная литература, 1950. – С.11–71.
3. Kruglyakov P.M. Hydrophile-lipophile balance of surfactants and solid particles. Physicochemical aspects and applications. Elsevier Science, Amsterdam, 2000. – 391 p.
4. Aveyard R., Clint J.H. Liquid droplets and solid particles at surfactant solution interfaces, J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1995. V.91. № 17. P.2681–2697.
5. Levine S., Bowen B.D., Partridge S.J. Stabilization of emulsions by fine particles. I. Partitioning of particles between continuous phase and oil/water interface, Colloids and Surfaces. 1989. V.38. P.325–344.
6. Levine S., Bowen B.D., Partridge S.J. Stabilization of emulsions by fine particles. II. Capillary and Waals forces between particles, Colloids and Surfaces. 1989. V.38. P.345–364.
7. Нуштаева, А.В. Капиллярное давление в утончающейся эмульсионной пленке, стабилизированной твердыми частицами [Текст] / А.В. Нуштаева, П.М. Кругляков // КЖ. – 2003. – Т.65. – №3. – С.374–382.
8. Yan N., Masliyah J.H. Adsorption and desorption of clay particles at the oil-water interface, J. Colloid Interface Sci. 1994. V.168. P.386–392.
9. Aveyard R., Binks B., Clint J.H., Adv. Colloid Interface Sci., 2003, v.100–102, p.503–546.
10. Horozov T.V., Aveyard R., Clint J., Langmuir, 2005, v.21, p.2330–2341.
11. Кругляков, П.П. Пена и пенные пленки [Текст] / П.П. Кругляков, Д.Р. Ексерова. – М.: Химия, 1990. – 432 с.
12. Gonzenbach U.T., Studart R.R., Tervoort E., Gauker L.J., Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 2006, v.43, p.3526–3530.
13. Vilкова N.G., Kruglyakov P.M., Nushtaeva A.V., Elaneva S.I., Shumkina A.A. Ultra-stable emulsions stabilized with solid nano- and microparticles // World congress on Emulsion, Lyon, France, oct. 12–14, 2010.
14. Кругляков, П.М. Физическая и коллоидная химия [Текст] / П.М. Кругляков, Т.Н. Хаскова. – М.: Высш. шк., 2010.
15. Kruglyakov P.M., Nushtaeva A.V., Colloids Surf. A:Physicochem. Eng. Aspects 263 (2005) 330–335.
16. Kruglyakov P.M., Nushtaeva A.V. Emulsion stabilized by solid particles: influence of the capillary pressure, in: Emulsions: Structure, Stability and Interactions, D.N. Petsev (ed.), Amsterdam, Elsevier, 2004, p.641–676.

УДК 691

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

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24,
тел.: (8342) 47-40-19; факс: (8342) 48-25-64

Леснов Виталий Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные материалы и
технологии»
Тел.: 8(8342)482564
E-mail: vvl377mgu@rambler.ru

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

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

Russia, 430000, Saransk, 24, Soviet St.,
tel.: (8342) 47-40-19; fax: (8342) 48-25-64

Lesnov Vitaliy Viktorovich,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Building Materials and
Technologies»
Tel.: 8(8342)482564
E-mail: vvl377mgu@rambler.ru

Erofeev Vladimir Trofimovich,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Building Materials and
Technologies»

СВОЙСТВА ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ НА МИКРО- И МАКРОУРОВНЯХ ЦЕМЕНТНЫХ КАРКАСНЫХ КОМПОЗИТОВ

В.В. Леснов, В.Т. Ерофеев

Приводятся результаты исследования влияния различных видов дисперсной арматуры на физико-механические свойства цементных каркасных композитов. Установлено, что введение дисперсной арматуры увеличивает прочность при изгибе, сжатии, а также удельную ударную вязкость составов.

Ключевые слова: цементные каркасные композиты, дисперсная арматура.

PROPERTIES OF CEMENT CARCASS COMPOSITES DISPERSIELY REINFORCED BY FIBRES ON MICRO- AND MACRO LEVELS

V.V. Lesnov, V.T. Erofeev

The research results of different types of fibres influence on cement carcass composites properties are given. It is founded that introduction of dispersed fibres increases bending, compressive and specific impact strength of composites.

Keywords: cement carcass composites, fibre.

Целью настоящих исследований является разработка цементных каркасных композитов, предназначенных для работы в условиях воздействия интенсивных физико-механических нагрузок.

Были поставлены следующие задачи: изучить влияние различных видов и количества дисперсной арматуры на прочностные, структурные и реологические свойства цементных клеев, матриц, каркасов и каркасных композитов, разработать математические модели их свойств.

Каркасные композиты получают по следующей технологии: на первом этапе формируется высокопористый каркас путем склеивания между собой зерен крупного заполнителя, на втором – производится пропитка пор каркаса высокоподвижной

матрицей¹. При этом должны соблюдаться следующие требования: к клею каркаса – совместимость с наполнителем каркаса и матричным составом; к каркасу – необходимая проницаемость при достаточной его прочности; к пропиточной матрице – требуемая подвижность, прочность, стойкость к неблагоприятным внешним физико-химическим воздействиям. Выполнение этих условий способствует созданию бездефектной контактной зоны, каркасного композита с заданными физико-техническими свойствами и качественной пропитке каркаса. Применение каркасной технологии изготовления позволяет получать эффективные композиты при экономии вяжущих до 10–15 %².

При исследовании клеевых и матричных составов, каркасов и каркасных композитов были использованы портландцемент марки ПЦ400Д20 (ОАО «Мордовцемент»), целлюлозная высокодисперсная арматура (ДВА) марки UF-500, макродисперсная металлическая арматура (ДМА) марки «Драмикс» с отношением l/d (длина/диаметр) = 50/1, суперпластифицирующая добавка (СП) марки Sika Viskocreat 5/600-5/800, в качестве крупного заполнителя – щебень из шлака крупностью 5–10 мм (ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат»). Содержание добавок СП и ДВА в составах принималось в процентах от массы вяжущего по сухому веществу. Среднюю плотность, пределы прочности при одноосном сжатии, изгибе и ударную вязкость композитов определяли испытанием образцов-балочек размером 20×20×70 мм и 40×40×160 мм, подвижность цементного теста клея и матрицы оценивали по расплыву на вискозиметре Суттарда.

Оптимизацию составов клеевых и матричных составов, каркасов и композитов проводили с использованием методов математического планирования эксперимента на трехфакторных планах – разноразмерном 2×2×3 и кубе Бокса В₃.

При получении клеевых и матричных составов в качестве изменяемых факторов были приняты (на кодированных уровнях –1, 0 и +1): X_1 – содержание дисперсной вязкой арматуры ДВА = 0 и 1,25 %, X_2 – количество суперпластификатора СП = 0 и 2 %; X_3 – водоцементное отношение В/Ц = 0,35, 0,425 и 0,50.

Приготовление клеевых и матричных составов осуществлялось по следующей технологии: портландцемент с водой затворения и суперпластификатором перемешивали в миксере в течение 30 с. В работающую мешалку постепенно вводили дисперсную арматуру марки UF-500 и перемешивали смесь в течение 4 мин. После укладки смесей в формы образцы уплотняли на встряхивающем столике 30 ударами при частоте 1 удар/с. Составы твердели одни сутки на воздухе, после чего образцы распалубливали и подвергали тепловлажностной обработке в пропарочной камере в течение 8 ч при температуре 95 °С.

После проведения испытаний и обработки экспериментальных данных были получены следующие полиномальные модели физико-механических характеристик клеевых и матричных составов:

$$R_{и(к.м.)} = 9,31 + 0,45X_1 - 3,29X_3 + 0,51X_1X_3 - 0,48X_2X_3;$$

$$R_{сж(к.м.)} = 48,68 - 10,13X_3 - 1,90X_1X_3 - 2,37X_2X_3;$$

$$A_{уд(к.м.)} = 22,1 + 4,7X_1 + 1,9X_2 - 2,5X_1X_3 - 2,2X_2X_3;$$

$$L_{(к.м.)} = 22,0 - 3,9X_1 + 8,1X_2 + 6,2X_3 - 1,2X_1X_2 - 1,3X_2X_3;$$

$$\rho_{(к.м.)} = 1870,0 - 111,2X_3,$$

где $R_{и(к.м.)}$ и $R_{сж(к.м.)}$ – пределы прочности при изгибе и сжатии, МПа; $A_{уд(к.м.)}$ – удельная ударная вязкость, кДж/м²; $L_{(к.м.)}$ – расплыв цементного теста, см; $\rho_{(к.м.)}$ – средняя плотность, кг/м³.

¹ Каркасные строительные композиты: В 2 ч. Ч. 1. Структурообразование. Свойства. Технология / В.Т. Ерофеев, Н.И. Мищенко, В.П. Селяев, В.И. Соломатов; под ред. акад. РААСН В.И. Соломатова. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1995. 200 с.

² Там же.

Дисперсно-армированные каркасы изготавливали в следующем порядке: сначала готовили клей каркаса по технологии, описанной выше, после чего в смесь вводили крупный наполнитель и тремя порциями дисперсную металлическую арматуру «Драмикс 50/1», время перемешивания смеси составляло 2 мин. Далее смесь укладывали в формы и уплотняли на встряхивающем столике 30 ударами при частоте 1 удар/с. Образцы твердели одни сутки на воздухе, после чего их распалубливали и подвергали тепловлажностной обработке по режиму, приведенному выше.

Количество дисперсной арматуры и отношение вяжущего к крупному наполнителю принималось постоянным и равным соответственно $UF-500 = 1,25 \%$ и $Ш/Ц = 5,5$. В качестве изменяемых факторов на кодированных уровнях -1 , 0 и $+1$ были приняты: X_1 – содержание ДМА «Драмикс 50/1», равное 78, 97,5 и 117 кг/м³; X_2 и X_3 – количество суперпластификатора и водоцементное отношение, равные соответственно $СП = 1, 1,5$ и 2% и $В/Ц = 0,325, 0,35$ и $0,375$.

После проведения испытаний и обработки экспериментальных данных были получены следующие математические модели прочностных характеристик дисперсно-армированных каркасов:

$$R_{и(к)} = 1,18 + 0,19X_3 - 0,11X_1X_2 - 0,26X_1^2;$$

$$R_{сж(к)} = 2,96 + 0,52X_3 - 0,29X_1X_2 - 0,22X_2X_3 - 0,58X_1^2 + 0,64X_3^2,$$

где $R_{и(к)}$ и $R_{сж(к)}$ – пределы прочности при изгибе и сжатии дисперсно-армированных каркасов, МПа.

Графические зависимости прочностных характеристик каркасов показаны на рис. 1, 2.

Дисперсно-армированные композиты изготавливали в следующем порядке: сначала готовили дисперсно-армированные каркасы на наполнителе из шлакового щебня, которые выдерживали 2 сут в формах, после чего производили их пропитку цементными матрицами. Образцы уплотняли на вибростоле в течение 2 мин. Составы твердели двое суток на воздухе, после чего образцы распалубливали и подвергали тепловлажностной обработке.

При исследовании свойств композитов в качестве факторов на кодированных уровнях -1 , 0 и $+1$ были приняты: X_1 – содержание дисперсной металлической арматуры «Драмикс 50/1» в каркасе ДМА = 0, 52 и 104 кг/м³; X_2 и X_3 – соответственно количество СП = 3,5, 4,0 % и В/Ц = 0,25, 0,283 в пропиточной матрице. Состав каркаса был постоянным (В/Ц = 0,35, СП = 1 %, Ш/Ц = 4,5, UF-500 = 1,25 %).

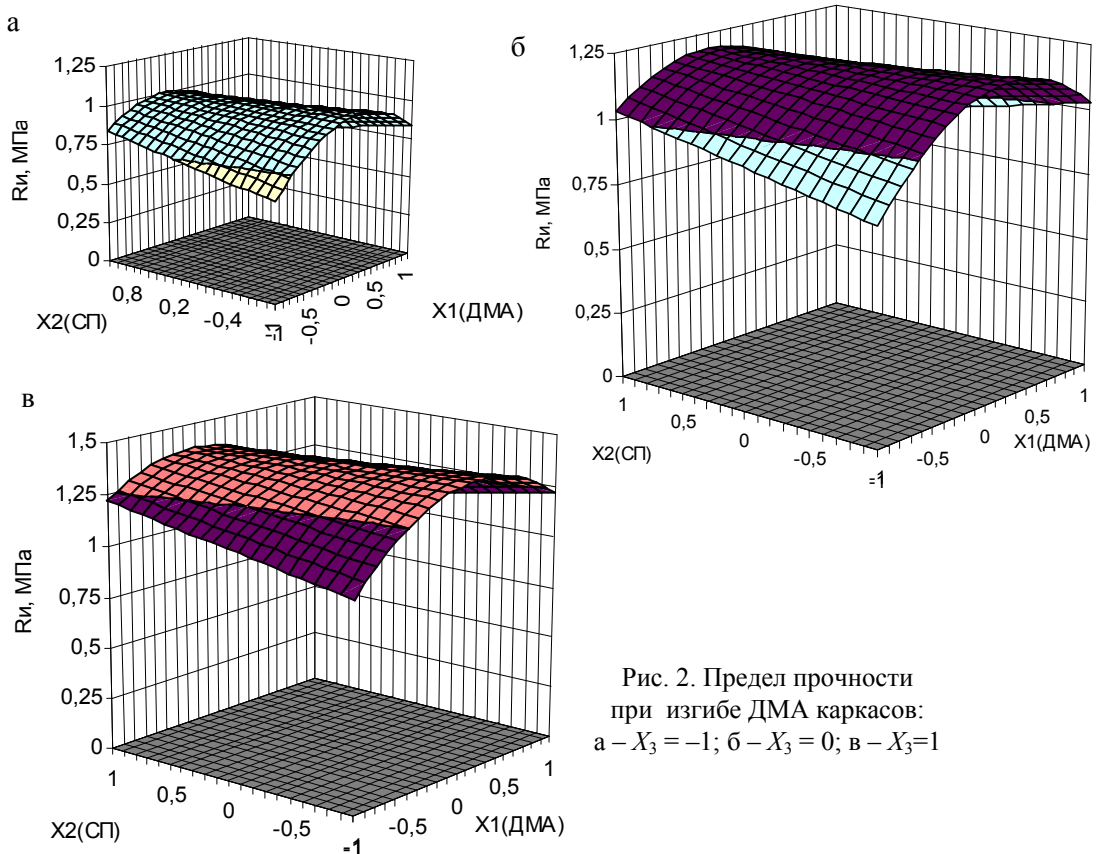
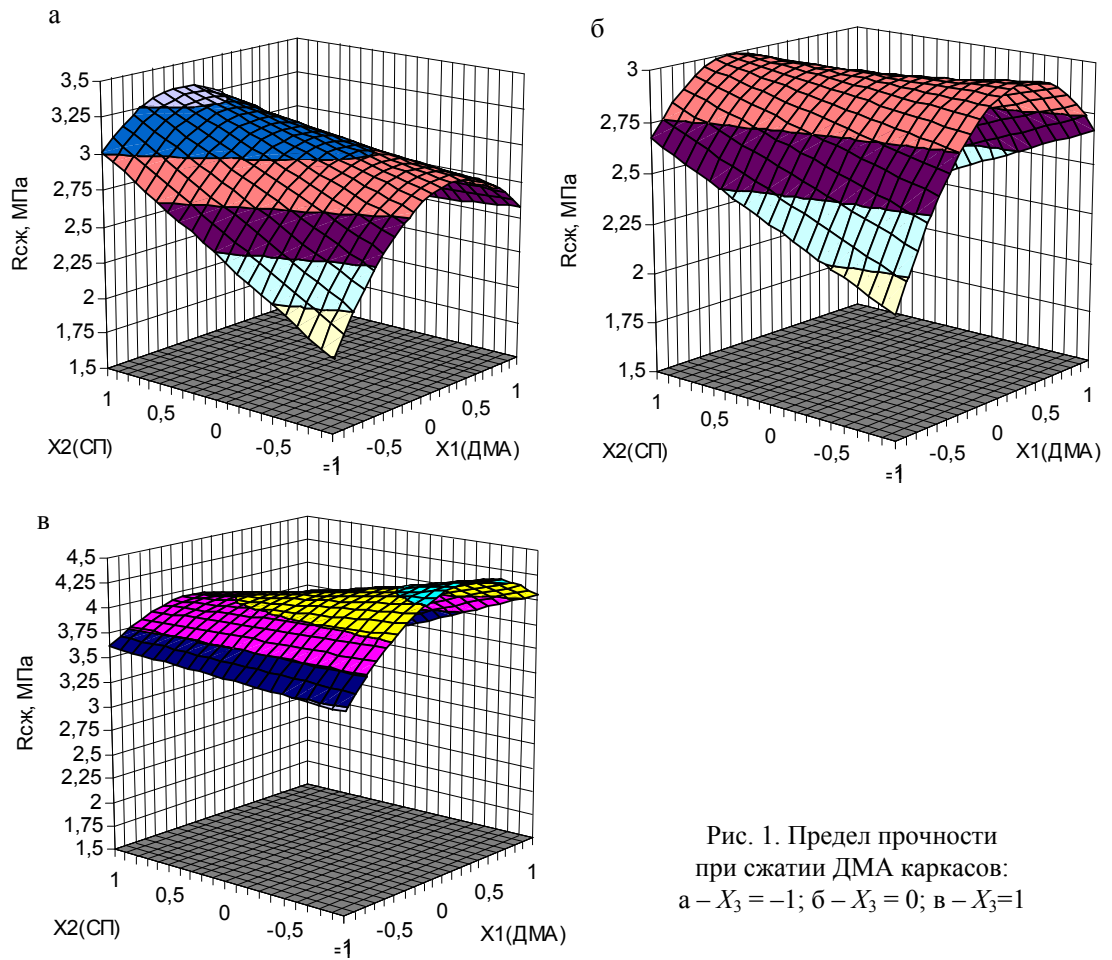
В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие математические модели прочностных и структурных характеристик дисперсно-армированных каркасных композитов:

$$R_{и(к.к)} = 6,38 + 1,39X_1 + 1,14X_1^2; R_{сж(к.к)} = 51,56 - 1,74X_3 - 1,63X_1^2;$$

$$A_{уд(к.к)} = 44,8 + 20,9X_1 + 3,3X_2 - 5,9X_1^2; \rho_{(к.к)} = 2187,7 + 30,5X_1 + 10,0X_2 + 18,4X_1^2,$$

где $R_{и(к.к)}$ и $R_{сж(к.к)}$ – пределы прочности при изгибе и сжатии, МПа; $A_{уд(к.к)}$ – удельная ударная вязкость, кДж/м²; $\rho_{(к.к)}$ – средняя плотность, кг/м³.

Графики изменения свойств дисперсно-армированных каркасных композитов, построенные по полученным моделям, показаны на рис. 3, 4.



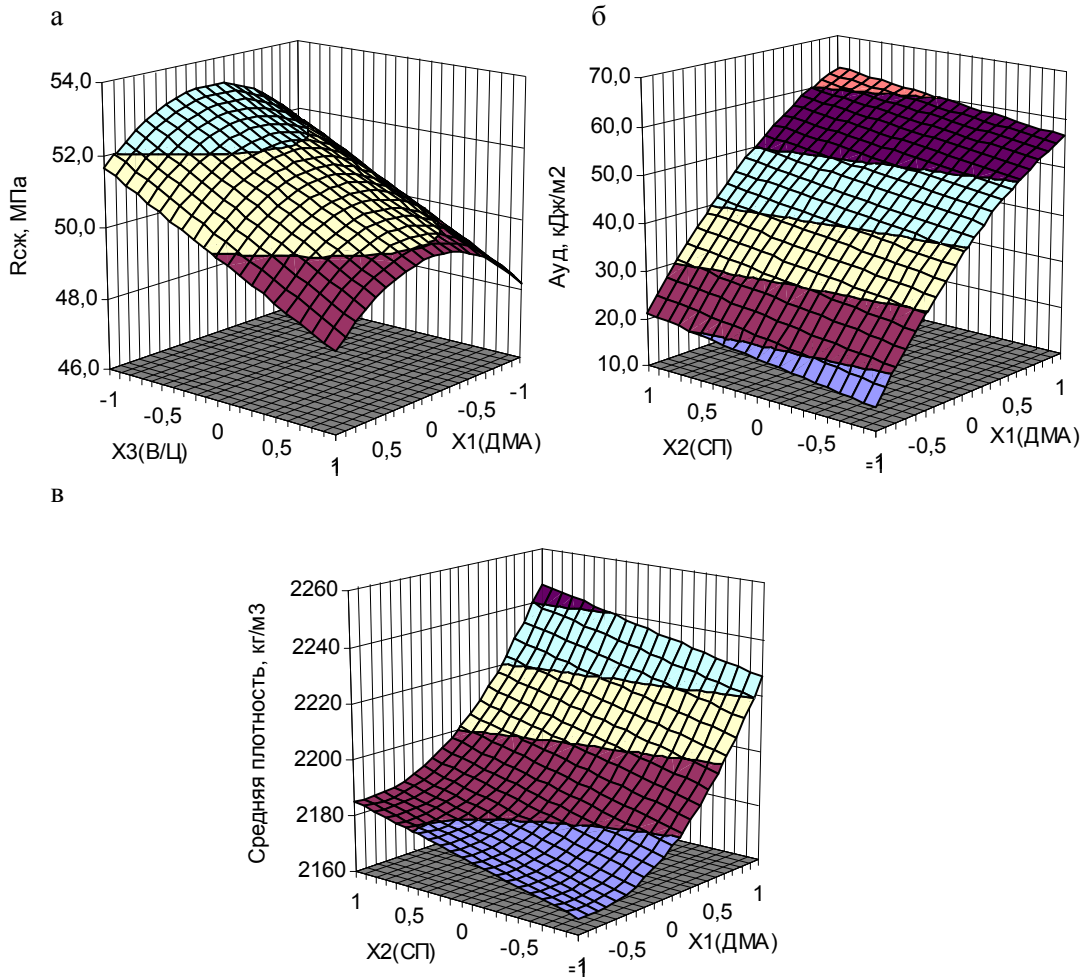


Рис. 3. Структурно-прочностные характеристики каркасных ДМА композитов: а – предел прочности при сжатии; б – ударная вязкость; в – средняя плотность

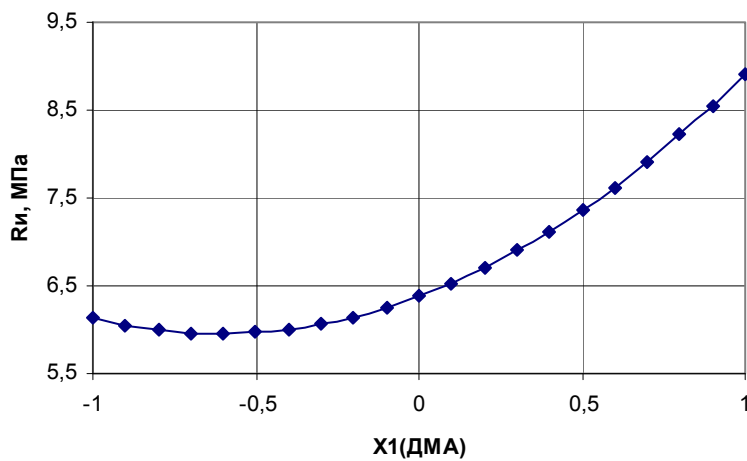


Рис. 4. Предел прочности при изгибе каркасных композитов дисперсно-армированных ДМА «Драмикс 50/1»

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- В ходе проведенных исследований поставленные цели и задачи были достигнуты: изучены прочностные, структурные и реологические свойства цементных клеев, матриц, каркасов и каркасных дисперсно-армированных композитов, получены математические модели их свойств.

- При исследовании клеевых и матричных составов установлено, что изменение факторов в пределах эксперимента позволило получить композиции с пределом прочности при изгибе 4,6–13,1 МПа, при одноосном сжатии – 34,3–63,1 МПа, подвижностью – до 40,1 см; ударной вязкостью – 10,8–33,4 кДж/м², средней плотностью 1760–1980 кг/м³. Введение дисперсной арматуры UF-500 увеличивает прочность клеевых и матричных композиций при изгибе в 1,10–1,42 раза, ударную вязкость – 1,22–2,33 раза.

- Предел прочности дисперсно-армированных каркасов изменяется при изгибе в интервале 0,62–1,38 МПа, при одноосном сжатии – 2,0–4,4 МПа. Введение дисперсной металлической арматуры «Драмикс 50/1» увеличивает прочность каркасов при изгибе в 1,38–1,63 раза, при сжатии – 1,44–1,68 раза.

- Прочность дисперсно-армированных каркасных композитов при изгибе составляет 6,0–8,9 МПа, при сжатии – 48,2–53,3 МПа; ударная вязкость – 14,7–63,1 кДж/м²; средняя плотность – 2165–2246 кг/м³. При оптимальном содержании металлической дисперсной арматуры «Драмикс 50/1» прочность композитов увеличивается при изгибе на 10–48 %, при сжатии – 5–10 %, ударная вязкость в 1,45–4,3 раза.

- Введение дисперсной арматуры различных видов улучшает прочностные свойства и позволяет получать эффективные цементные композиты каркасной структуры, которые можно использовать при изготовлении материалов, конструкций и изделий повышенной долговечности, подвергаемых интенсивным воздействиям механических, ударных, истирающих и знакопеременных температурно-влажностных нагрузок.

УДК 502.51:537.8:666.9

*Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева*Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24,
тел.: (8342) 47-40-19; факс: (8342) 48-25-64**Седова Анна Алексеевна**,
кандидат химических наук, доцент
кафедры «Аналитическая химия».
Адрес: 430005, г. Саранск,
ул. Коммунистическая, д.54, кв.22.
Тел.: 8 (8342) 47-28-24**Емельянов Денис Владимирович**,
аспирант кафедры «Строительные
материалы и технологии».
Адрес: 430030, г. Саранск, ул. Дальняя, д. 3.
E-mail: emelyanoffdv@yandex.ru**Осипов Анатолий Константинович**,
кандидат химических наук, профессор,
зав. кафедрой «Аналитическая химия».
Адрес: 430005, г. Саранск,
ул. Коммунистическая, д. 56**Ерофеев Владимир Трофимович**,
член-корреспондент РААСН,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные материалы и
технологии».
Адрес: 430005, г. Саранск,
ул. Коммунистическая, д.54, кв.42.
Тел.: 8 (8342) 48-25-64
E-mail: bogatovad@list.ru**Юдин Павел Васильевич**,
аспирант кафедры «Строительные
материалы и технологии».
Адрес: 430033, г. Саранск,
ул. Гожувская, д.50, кв.66*The Mordvian State University named after
N.P. Ogaryov*Russia, 430000, Saransk, 24, Soviet St.,
tel.: (8342) 47-40-19; fax: (8342) 48-25-64**Sedova Anna Alekseyevna**,
Candidate of Science in Chemistry,
associate professor of the department
«Analytical chemistry».
Address: 430005, Saransk, 54,
Kommunisticheskaya St., ap. 22.
Tel.: 8 (8342) 47-28-24**Emelyanov Denis Vladimirovich**,
Postgraduate of the department «Building
Materials and Technology».
Address: 430030, Saransk, 3, Dalniaya St.
E-mail: emelyanoffdv@yandex.ru**Osipov Anatoliy Konstantinovich**,
Candidate of Science in Chemistry, professor
Head of the department «Analytical chemistry».
Address: 430005, Saransk, 56,
Kommunisticheskaya St.**Erofeev Vladimir Trofimovich**,
corresponding member of the Russian
Academy of Architectural and Building
Science, Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Building Materials
and Technologies»
Address: 430005, Saransk, 54,
Kommunisticheskaya St., ap.42.
Tel.: 8 (8342) 48-25-64
E-mail: bogatovad@list.ru**Yudin Pavel Vasilievich**,
Postgraduate of the department «Building
Materials and Technology».
Address: 430033, Saransk, 50,
Gozhuvskaya St., ap. 66

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ АКТИВАЦИИ НА ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

А.А. Седова, Д.В. Емельянов, А.К. Осипов, В.Т. Ерофеев, П.В. Юдин

Приведены результаты исследования активированной природной воды с введенными в неё добавками. Показаны анодные поляризационные кривые стали в активированной воде с введенными в неё добавками. Представлены данные изменения прочностных показателей цементных композитов в зависимости от режима активации воды и типа вводимых наполнителей.

Ключевые слова: активированная вода, наполнители, электромагнитное поле, электрический ток, поляризационная кривая, прочность композитов.

INFLUENCE OF ACTIVATION WAYS ON CHEMICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WATER

A.A. Sedova, D.V. Emelyanov, A.K. Osipov, V.T. Erofeyev, P.V. Yudin

The research results of activated natural water with some fillers are represented in the article. Anode polarized curves of steel in activated water with fillers are shown. Data on changes of cement composites strength properties depending on water activation regime and types of fillers are presented.

Keywords: activated water, fillers, electromagnetic field, electric current, polarized curve, strength of composites.

В ранее опубликованной статье [1] были представлены экспериментальные данные, указывающие на изменение химических и физико-химических свойств воды затворения после последовательной обработки артезианской воды электрическим током и магнитным полем. Показано, что режимы обработки воды затворения влияют на прочность цементного камня [2].

В настоящей работе изучены химические и физико-химические свойства 9 типов активированной воды затворения после последовательной обработки электрическим током и магнитным полем и введения в нее различных высокодисперсных наполнителей минерального типа. Такие наполнители были выбраны для того, чтобы быть использованными в качестве активного участника в формировании структуры цементного камня за счет диффузионных и других взаимодействий [3].

Как наполнители были рассмотрены следующие материалы: мел (марок МТД-2, ММС-2); тальк (марок ТРПН, ТМК-28); белая сажа и каолин.

Результаты химического анализа наполнителей представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты химического анализа наполнителей

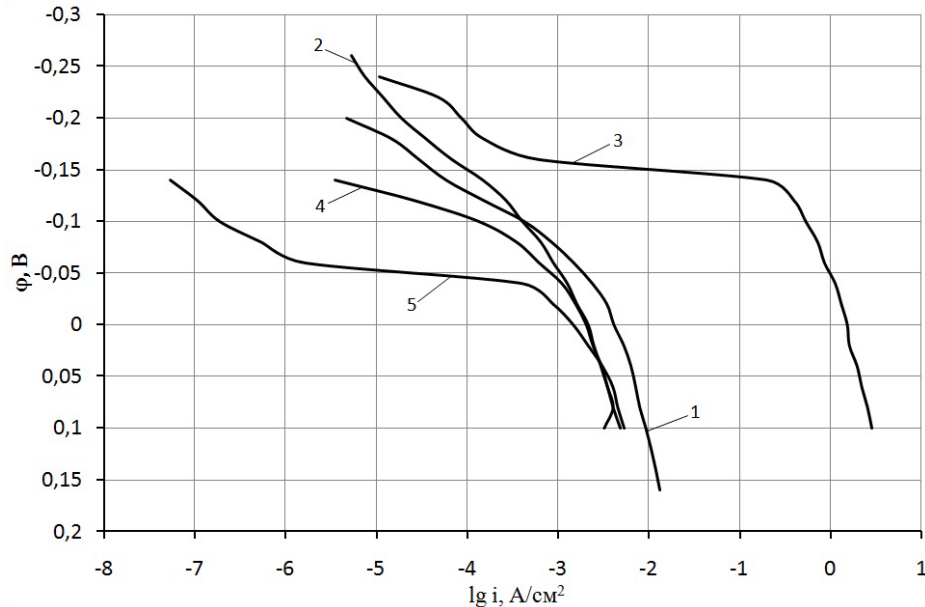
Показатели $W, \%$	Мел		Тальк		Белая сажа	Каолин
	ММС-2	МТД-2	ТРПН	ТМК-28		
Потери при прокаливании	0,052	0,06	7,5	6,8	5,81	7,97
Влажность	0,2	0,22	0,94	0,78	6,4	18,9
Нерастворимые в HCl вещества	1,31	1,72	83	78	–	–
CaCO ₃ +MgCO ₃	95,64	91,52	–	–	–	–
SiO ₂	–	–	–	–	82,46	64,0
Полуторные оксиды (сумма)	–	–	–	–	0,36	23,9
Fe ₂ O ₃	0,12	0,21	0,72	0,24	0,15	0,26
Al ₂ O ₃	0,052	0,06	–	–	0,153	23,3
TiO ₂	–	–	–	–	0,057	0,34

Из табл. 1 видно, что мел состоит в основном из карбонатов кальция и магния. Белая сажа представляет собой диоксид кремния и применяется как наполнитель при изготовлении полимерных композиционных материалов. Каолин – белая глина – применяется в керамической, стекольной, косметической, фармацевтической промышленности. Тальк является гидрофобным наполнителем, имеет повышенную атмосферостойкость, полностью растворим в плавиковой и частично в соляной кислоте. Все наполнители содержат полуторные оксиды: Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂.

Изучен состав и электрохимические характеристики неактивированной воды затворения (далее «О» вода). Исходная вода имеет pH=7,95; общая жесткость воды составила 8,11 ммоль-экв/л. Содержание ионов Ca²⁺ и Mg²⁺ равно примерно 60 мг/л, железа (III) – 0,22 мг/л (табл. 2). Электрохимический потенциал свободной от коррозии арматурной стали (Ст.85) в «О» воде находится в области отрицательных значений и незначителен по своей величине ($\varphi = -0,2$ В). При сдвиге потенциала в поло-

жительную область наблюдается тенденция к заметному торможению анодного процесса. На участке $\varphi = -0,2 \dots -0,06$ В анодной поляризационной кривой (АПК) регистрируется Тафелевская зависимость перенапряжения анодного процесса от плотности тока с угловым коэффициентом $\beta = \operatorname{tg} \alpha = 0,155$ (рис. 1, кривая 1).

а



б

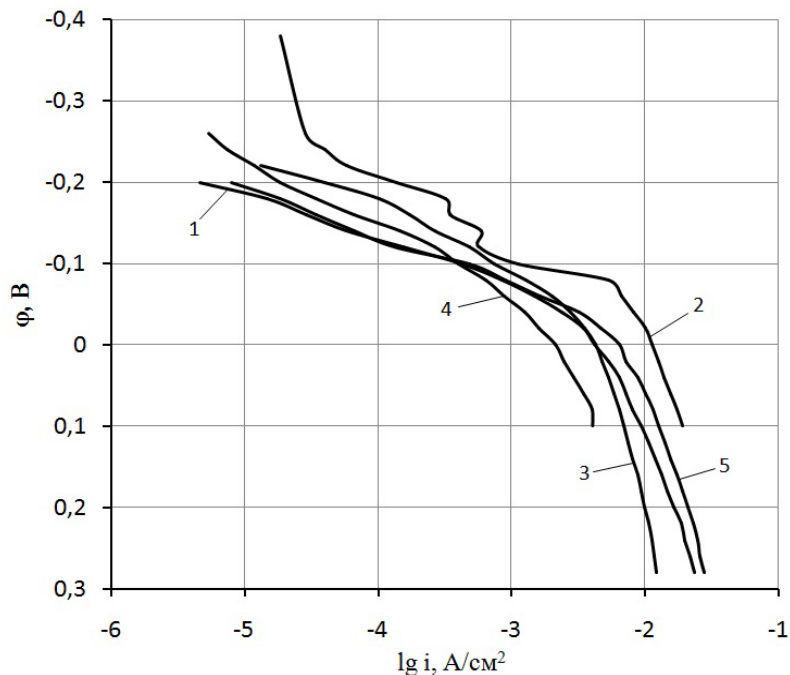


Рис. 1. Анодные поляризационные кривые для воды в присутствии добавки «белая сажа» (а), «тальк» (б):

- 1 – неактив. без добавки; 2 – неактив. с добавкой; 3 – актив. по режиму Э+М (1–1) с добавкой;
4 – актив. по режиму Э+М (3–3) с добавкой; 5 – актив. по режиму Э+М (6–6) с добавкой

После активации воды при всех режимах обработки наблюдается понижение рН с 7,95 до 7,33. По мере увеличения силы тока и напряженности магнитного поля (режимы обработки Э–М от 1–1 до 6–6) наблюдается снижение концентрации железа (III) с 0,22 до 0,14 мг/л. Увеличение силы тока в воде затворения до 6А приводит к пассивации анода, поэтому наблюдается снижение поступления ионов железа (III) в воду.

Результаты химического анализа активированной воды

Тип воды	рН	Жесткость воды, ммоль/л			Содержание, мг/л									ХПК, мгО ₂ /л	Содержание углекислоты, мг/л	
		Общ.	Карб.	Пост.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{общ}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	F ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Свободн.		Агресс.	
0	7,95	8,11	4,55	3,56	60,09	60,10	0,38	0,22	0,16	0,31	132,11	115,54	1,69	47,04	15,68	
Э+М 1-1	7,85	8,25	5,89	2,36	48,34	68,24	0,35	0,21	0,14	0,68	150,09	120,61	2,24	46,50	15,50	
Э+М 1-3	7,82	8,08	5,61	2,47	54,18	64,08	0,25	0,13	0,12	0,50	144,93	114,04	2,43	48,34	16,13	
Э+М 1-6	7,53	8,10	5,35	2,75	48,49	68,47	0,25	0,13	0,12	1,03	131,84	111,29	2,19	44,19	14,74	
Э+М 3-1	7,50	7,75	5,85	1,9	54,33	60,27	0,37	0,23	0,14	0,76	131,46	111,35	1,94	14,61	14,21	
Э+М 3-3	7,33	7,40	5,16	2,24	48,45	60,36	0,38	0,22	0,16	0,51	140,25	114,08	1,71	39,30	13,11	
Э+М 3-6	7,44	7,44	5,95	1,49	48,36	60,31	0,53	0,30	0,17	0,85	132,19	113,00	2,19	38,81	12,94	
Э+М 6-1	7,49	7,47	5,15	2,32	48,39	60,30	0,42	0,24	0,18	0,91	136,12	105,84	3,03	37,26	12,42	
Э+М 6-3	7,50	8,29	5,72	2,57	54,31	64,29	0,30	0,15	0,15	0,54	132,25	114,04	2,36	37,08	12,36	
Э+М 6-6	7,57	8,35	6,88	1,47	70,58	70,63	0,28	0,14	0,14	0,33	131,30	113,82	2,21	33,48	11,16	

При введении в воду в качестве добавки белой сажи (W=0,5 %) (табл. 3) наблюдается понижение рН, повышение жесткости воды, содержания ионов Ca²⁺, Mg²⁺, Fe (II) и (III), фторид-, сульфат-, хлорид-ионов. Повышаются ХПК, содержание свободной и агрессивной углекислоты.

Т а б л и ц а 3

Результаты химического анализа активированной воды с добавкой (белая сажа 0,5 %)

Тип воды	рН	Жесткость воды, ммоль/л			Содержание, мг/л									ХПК, мгО ₂ /л	Содержание углекислоты, мг/л	
		Общ.	Карб.	Пост.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{общ}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Свободн.		Агресс.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
«О»	6,60	4,67	4,10	0,57	50,0	26,0	2,41	0,52	1,89	71,4	22,41	3,50	2,34	9,35	5,50	
«О» доб	6,65	6,63	6,03	0,60	74,0	35,0	4,60	3,15	1,45	157,1	47,31	4,00	3,27	26,95	5,70	
Э+М 1-1	7,00	10,64	5,85	4,79	144,0	42,0	9,52	3,22	6,30	164,0	62,25	5,00	3,75	29,15	6,05	
Э+М 1-3	6,70	9,96	4,88	5,08	105,0	56,0	7,56	2,40	5,16	171,5	67,23	4,50	4,14	30,25	7,70	
Э+М 1-6	6,90	11,10	7,41	3,69	97,0	75,0	9,20	2,40	6,80	157,0	72,22	5,20	4,37	31,90	8,80	
Э+М 3-1	6,83	11,45	4,68	6,77	105,0	74,0	9,20	2,20	7,00	157,0	104,5	4,90	4,60	33,50	12,10	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Э+М 3-3	6,85	12,50	5,07	7,43	121,0	77,0	6,70	2,10	4,60	185,5	117,0	5,30	4,84	36,85	11,00
Э+М 3-6	6,89	13,07	5,66	7,41	109,0	91,0	7,50	1,65	5,85	174,0	119,5	5,10	5,38	39,05	12,40
Э+М 6-1	6,25	14,25	4,88	9,97	140,0	87,0	8,40	2,64	5,76	187,1	122,0	5,00	5,62	42,90	11,55
Э+М 6-3	6,68	15,22	6,05	9,17	152,0	93,0	8,10	3,22	4,88	193,0	132,0	4,80	5,93	44,00	13,20
Э+М 6-6	6,50	16,39	7,02	9,37	171,0	94,0	9,10	3,41	5,69	200	149,4	5,50	6,16	49,50	15,95

Добавление к воде белой сажи с соответствующей электромагнитной обработкой не нарушает закономерности в анодном поведении стали (Ст.85). С увеличением потенциала анодной поляризации при режиме электромагнитной обработки Э-М (6-6) имеет место возрастание токов растворения (рис.1,а).

Введение в воду в качестве добавки талька ($W=0,5\%$) приводит также к изменению качества воды (табл. 4). Заметно возрастает жесткость, повышается содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , увеличивается содержание общего железа. Изменение режима электромагнитной обработки приводит к изменению содержания ионов Fe (III) и (II). Повышаются окисляемость воды, содержание свободной и агрессивной углекислоты.

Т а б л и ц а 4

Результаты химического анализа активированной воды с тальком ТМК-28

Типы воды	pH	Жесткость воды, ммоль-экв/л			Содержание, мг/л									ХПК, мгO ₂ /л	Содержа- ние угле- кислоты, мг/л	
		Общ.	Карб.	Пост.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{общ}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	F ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Свободн.		Агресс.	
«О»	6,65	10,85	5,46	5,39	117	60	14,3	7,50	6,80	1,16	57	89,6	2,70	126,5	44	
«О» доб	6,69	13,06	6,05	7,01	156	63,2	23,8	9,81	13,99	1,34	64	99,6	3,20	170,5	71,5	
Э+М 1-1	6,72	13,68	6,44	7,24	160	68,2	28	12,80	15,2	1,58	65,5	129,5	4,24	187	77	
Э+М 1-3	6,75	14,64	6,63	8,01	164	77,3	10,31	3,41	6,90	1,24	71	114,5	5,21	181,5	60,5	
Э+М 1-6	6,78	13,45	6,83	6,62	124,9	86,06	14,0	4,48	9,52	1,24	74	119,5	5,64	192,5	88	
Э+М 3-1	6,83	15,40	7,22	8,18	156	91,3	7,00	3,15	3,85	1,46	77	114,9	6,03	176	60,5	
Э+М 3-3	7,00	19,00	7,81	11,19	214,7	100	7,50	3,22	4,28	1,34	78,5	109,5	6,57	209	71,5	
Э+М 3-6	6,89	18,43	8,20	10,23	197	103	13,70	4,90	8,80	1,24	74	134,4	7,13	220	77	
Э+М 6-1	6,85	20,05	8,98	11,07	203	119	7,84	4,20	3,64	1,64	75,5	144,5	7,49	236,5	88,0 0	
Э+М 6-3	6,91	20,95	9,37	11,58	195	135	11,40	6,41	4,99	1,80	80	149,3	7,95	242	88	
Э+М 6-6	6,94	23,90	10,90	13,00	134,3	174	6,41	4,80	3,61	1,90	82,5	164,3	8,26	258,5	82,5	

Добавка талька к воде не вносит существенных изменений в электрохимические характеристики арматурной стали (Ст.85), но, вместе с тем, наблюдаются небольшой сдвиг потенциала в отрицательную область и повышение токов растворения по сравнению с водой без добавки. Предлогарифмический коэффициент в уравнении Тафеля с тальком равен $\beta = 0,875$. Следовательно, добавка замедляет анодный процесс растворения, начиная с потенциала свободной коррозии от $\varphi = -0,19$ В до $\varphi = 0,25$ В (рис.1,б).

Применение в качестве наполнителя мела ($W = 0,5\%$) с последующей обработкой магнитным полем и электрическим током приводит к повышению рН воды с 6,20 до 8,10. Повышается общая жесткость воды с 16,50 до 43,16; карбонатная – с 11,75 до 31,75; постоянная – с 4,75 до 11,41 ммоль-экв/л. Окисляемость увеличилась с 13,21 до 39,36 мгО₂/л. Углекислота свободная повышается с 80,85 до 108,96 мг/л, агрессивная – с 20,22 до 32,45 мг/л. Общее содержание железа заметно понижается с 15,68 до 7,00; железа(III) – с 8,40 до 4,20; железа (II) – с 7,28 до 2,80 мг/л. Вода характеризуется повышенным содержанием ионов Са²⁺ от 220 до 660 мг/л (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Результаты химического анализа воды после электромагнитной активации
в присутствии наполнителя (мел 0,5 %)

Типы воды	рН	Жесткость воды, ммоль/л			Содержание, мг/л									ХПК, мгО ₂ /л	Содержание углекисло- ты, мг/л	
		Общ.	Карб.	Пост.	Са ²⁺	Мg ²⁺	Fe _{общ}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	F ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Свободн.		Агресс.	
«О»	6,20	16,50	11,75	4,75	220,43	66,33	15,68	8,40	7,28	7,40	220,43	66,33	13,21	80,85	20,22	
Э+М 1-1	10,1	25,65	24,25	1,40	310,0	121,0	13,16	7,84	5,32	7,30	310,0	121,0	29,76	95,15	18,72	
Э+М 1-3	8,60	26,55	20,25	6,30	350,24	109,0	22,68	6,70	15,98	9,60	350,24	109,0	27,84	89,65	30,87	
Э+М 1-6	9,20	29,11	24,75	4,36	410,0	102,0	13,72	5,60	8,12	7,40	410,0	102,0	10,56	87,45	24,75	
Э+М 3-1	9,60	32,08	23,75	8,33	470,0	103,0	6,16	4,76	1,40	8,30	470,0	103,0	24,00	120,05	26,95	
Э+М 3-3	7,80	34,03	23,00	11,03	490,0	114,0	11,20	4,48	6,72	6,61	490,0	114,0	20,16	81,96	22,09	
Э+М 3-6	8,80	32,68	24,75	7,93	521,0	115,11	7,00	3,15	3,85	8,00	521,0	115,11	18,24	107,25	25,31	
Э+М 6-1	7,90	37,01	28,75	8,26	566,0	108,0	7,28	4,20	3,08	9,05	566,0	108,0	38,05	102,85	26,46	
Э+М 6-3	7,20	39,55	28,00	11,55	595,0	120,05	5,60	3,22	2,38	7,36	595,0	120,05	33,68	103,95	20,35	
Э+М 6-6	8,10	43,16	31,75	11,41	660,1	122,0	7,00	4,20	2,80	8,43	660,1	122,0	39,36	108,96	32,45	

Однако введение мела в качестве наполнителя, так же как талька, не вносит существенных изменений в электрохимические характеристики арматурной стали (рис. 2).

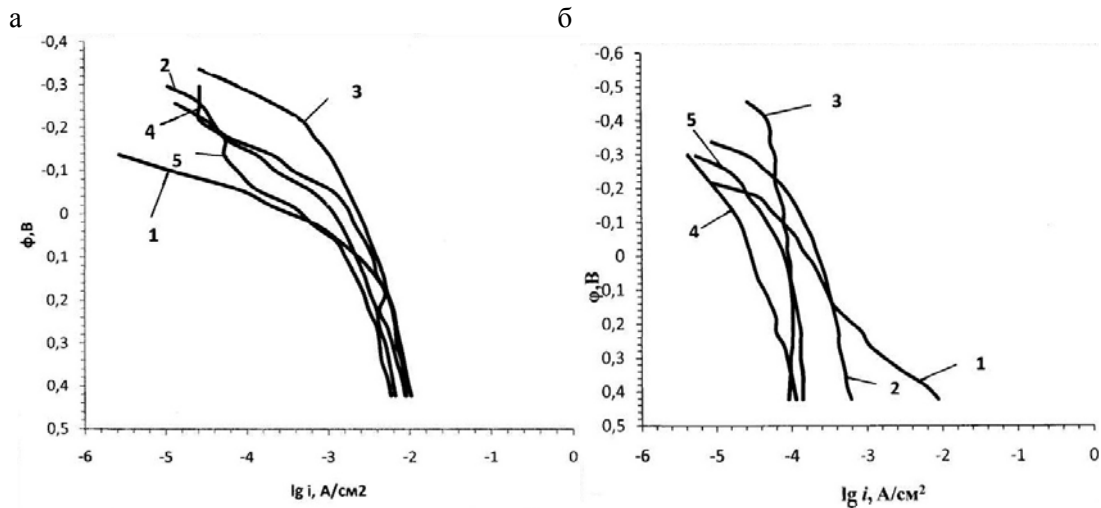


Рис. 2. Анодные поляризационные кривые для воды в присутствии добавки «мел» (а), «каолин» (б): 1 – неактив. без добавки; 2 – неактив. с добавкой; 3 – актив. по режиму Э+М (1–1) с добавкой; 4 – актив. по режиму Э+М (3–3) с добавкой; 5 – актив. по режиму Э+М (6–6) с добавкой

Анализ активированной воды в присутствии каолина ($W=0,5\%$) показал, что наблюдаются также изменения в химическом составе воды: рН воды повышается с 6,68 до 7,55. Наблюдается возрастание общей жесткости с 9,87 до 15,84; карбонатной – с 6,29 до 8,77; постоянной – с 4,18 до 7,07 ммоль-экв/л. Заметно возрастание окисляемости воды с 3,12 до 7,85 мгО₂/л, повышение свободной углекислоты с 36,07 до 49,56 мг/л. Установлено высокое содержание железа (общего), железа (III) и (II), фторид-ионов 1,56–2,56 мг/л (табл. 6).

Добавка 0,5% каолина к воде с аналогичной электромагнитной обработкой изменяет электрохимические характеристики стали (Ст.85). В частности, по сравнению с добавкой талька увеличиваются токи растворения на протяжении всей области анодной поляризации, примерно на порядок. Потенциал свободной коррозии смещается в более отрицательную область ($\phi = -0,8\text{ В}$) для воды с электромагнитной обработкой по режиму Э+М (6–6) (см. рис. 2). Значительны в данном случае и токи растворения. Отмечается участок Тафелевской прямой с тальком предлогарифмическим коэффициентом $\beta = 0,155$. Анодные поляризационные кривые для двух добавок (каолин – тальк) подчиняются общей закономерности: повышение соотношения электрический ток – магнитное поле активирует анодное растворение арматурной стали в растворе.

Т а б л и ц а 6

Результаты химического анализа воды после электромагнитной активации в присутствии наполнителя (каолин 0,5%)

Типы воды	рН	Жесткость воды, ммоль/л			Содержание, мг/л								ХПК, мгО ₂ /л	Содержание углекислоты, мг/л	
		Общ.	Карб.	Пост.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{общ}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	F ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		Свободн.	Агресс.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
«О»	6,50	9,38	5,20	4,18	80,45	64,33	3,15	2,53	0,62	1,47	60,32	84,60	2,86	34,29	11,43
«О» доб	6,68	9,87	6,29	3,58	86,06	66,91	3,56	2,72	0,84	1,56	64,33	90,62	3,12	36,07	12,00
Э+М 1-1	6,75	10,46	6,70	3,76	95,23	68,49	4,65	2,88	1,77	1,96	107,92	95,23	4,43	36,75	12,25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Э+М 1-3	6,92	10,87	6,93	3,94	100,31	70,34	5,16	3,03	2,13	1,98	113,94	100,46	4,72	37,52	12,50
Э+М 1-6	6,96	11,52	7,05	4,47	105,34	75,19	5,21	3,22	1,99	2,03	117,45	102,83	5,13	38,25	12,75
Э+М 3-1	7,00	11,84	7,35	4,49	110,68	75,75	5,39	3,34	2,05	2,11	120,05	104,51	5,60	39,93	13,31
Э+М 3-3	7,15	12,39	7,55	4,84	113,94	80,45	5,65	3,56	2,09	2,15	120,61	107,92	6,00	41,19	13,73
Э+М 3-6	7,25	13,17	7,85	5,32	120,64	85,76	5,98	3,64	2,34	2,22	130,81	110,55	6,41	42,33	14,11
Э+М 6-1	7,28	13,82	8,00	5,82	130,10	87,91	6,11	3,75	2,36	2,25	134,25	117,45	6,64	43,68	14,56
Э+М 6-3	7,34	14,51	8,11	6,40	138,24	91,30	6,29	3,97	2,32	2,33	138,36	120,64	6,83	45,09	15,03
Э+М 6-6	7,55	15,84	8,77	7,07	145,25	103,0	6,86	4,09	2,77	2,56	142,80	130,94	7,85	49,56	16,52

Результаты эксперимента анодного поведения арматурной стали (Ст.85) показали, что изучаемые добавки в зависимости от их химического состава оказывают различное агрессивное влияние на сталь. Вероятно, электрохимические характеристики, полученные в процессе анодной поляризации стали в воде с добавками, зависят также от электромагнитной обработки, которая, в свою очередь, вносит изменения в электрические свойства воды, изменяя ее окислительно-восстановительный потенциал. Следует ожидать, что свойствами активированной воды в значительной степени определяются физико-технические характеристики цементного камня.

Практическое применение активированной природно-минерализированной воды в присутствии рассматриваемых наполнителей исследовали на цементных композитах. Были изготовлены партии цементных образцов с размером ребра 2 см, после чего их выдерживали для набора прочности в емкости с гидравлическим затвором. Прочность композитов измеряли через 3, 7, 28 дней методом разрушения. Прочность образцов, приготовленных с применением активированной воды затворения и наполнителей, рассчитывали по отношению к прочности образцов на «О» воде затворения с соответствующими наполнителями. Значения относительной прочности цементных композитов после 28-дневной выдержки представлены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Относительная прочность (%) цементных композитов на активированной воде затворения в присутствии наполнителей

Тип воды затворения	Прирост прочности композитов без наполнителя, %	Прирост прочности композитов с наполнителем, %			
		Белая сажа	Тальк	Каолин	Мел
Э+М (1-1)			18	16	
Э+М (1-3)		10			
Э+М (1-6)			6		10
Э+М (3-1)	7,3				
Э+М (3-3)		25		16	4
Э+М (3-6)	7,0		11	12	
Э+М (6-1)		18		17	
Э+М (6-3)					
Э+М (6-6)	13,2			5	

Известно, что наполнители способствуют глубокой гидратации цемента. Существует несколько мнений о природе эффективности наполнителей. Однако большинство исследователей склонны считать, что реакционная способность наполнителя зависит от его дисперсности. Диспергирование наполнителя при помоле способствует увеличению химического потенциала микрочастиц и существенно повышает их химическую активность.

Из табл. 7 видно, что белая сажа (при $W=0,5\%$) при режиме электромагнитной обработки воды Э-М (3-3) повышает относительную прочность цементного камня на 25 % и на 18 % – при режиме обработки воды Э-М (6-1). Следует отметить, что в ходе исследования использовался тонкодисперсный порошок белой сажи, что предопределяло ее химическую активность.

При рассмотрении зависимости относительной прочности цементного камня от введения каолина видно, что при четырех режимах активации воды (1-1, 3-3, 3-6, 6-1) прочность цементного камня выше, по сравнению с прочностью композитов на «О» воде затворения, на 16–17 %. Относительная прочность цементного камня в присутствии талька выше на 18 % для воды типа (1-1) и на 11 % для воды типа (3-6). При использовании в качестве наполнителя мела наблюдали повышение относительной прочности цементного камня, изготовленного на воде с режимом активации Э-М (1-6), на 10 %.

Таким образом, относительная прочность цементного камня в присутствии наполнителя – белая сажа при режиме электромагнитной обработки воды Э-М (3-3) – превышает прочность цементного камня на обычной воде затворения на 25 %. Это лучший показатель среди четырех изученных наполнителей.

Список литературы

1. Седова, А.А. Влияние способов активации на химические и физико-химические свойства воды [Текст] / А.А. Седова, А.К. Осипов, В.Т. Ерофеев, Д.В. Емельянов [и др.] // Вестник ВРО РААСН. – Вып. 13. – Нижний Новгород, 2010. – С.236–240.
2. Ерофеев, В.Т. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения [Текст] / В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина, А.А. Матвиевский // Строительные материалы. – М., 2007. – №11. – С. 56–57.
3. Купряшкина, Л.И. Наполненные цементные композиции [Текст] / Л.И. Купряшкина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 180 с.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Стандартизация,
сертификация и аудит качества».
Тел.: (8412)92-94-78.
E-mail: loganin@mail.ru

Макарова Людмила Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Стандартизация, сертификация
и аудит качества»
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Тарасов Роман Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Стандартизация, сертификация
и аудит качества», декан Технологического
факультета.
Тел.: (8412)92-94-78.
E-mail: rwtarasow @ rambler.ru

Давыдова Ольга Александровна,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
Тел.: (8412)92-94-78.
E-mail: _oda@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Standardization, Certification
and Quality Auditing».
Tel.: (8412)92-94-78.
E-mail: loganin@mail.ru

Makarova Ludmila Viktorovna,
Candidate of Science,
Associate Professor of the department
«Standardization, Certification
and Quality Auditing».
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Tarasov Roman Viktorovich,
Candidate of Science,
Associate Professor of the department
«Standardization, Certification
and Quality Auditing».
Tel.: (8412)92-94-78.
E-mail: rwtarasow @ rambler.ru

Davydova Olga Aleksandrovna,
Postgraduate of the department «Standardization,
Certification and Quality Auditing».
Tel.: (8412)92-94-78.
E-mail: _oda@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ*

В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, О.А. Давыдова

Приведены сведения об основных показателях качества отделочных покрытий. Разработан обобщенный критерий качества покрытий и установлен оптимальный отделочный состав в широком диапазоне значений коэффициентов весомости.

Ключевые слова: качество строительных материалов, обобщенный критерий качества, оптимальный состав.

OPTIMIZATION OF GENERAL PURPOSE COMPOSITES STRUCTURE, MODIFIED BY NANO-DIMENSIONAL ADDITIVES

V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, O.A. Davydova

The article provides information on key indicators of finishing coatings quality. Generalized criterion of quality coatings is developed and optimal finishing structure of a wide range of weighting coefficients is defined.

Keywords: quality of building materials, generalized criterion of quality, optimum structure.

* Работа выполнялась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (госконтракт с Федеральным агентством по образованию РФ №П11456).

Качество строительных материалов, как правило, является комплексной характеристикой, оцениваемой по показателям нескольких свойств [1]. Выбор перечня свойств определяется областью применения материала. Причем функциональные свойства должны учитываться при оптимизации рецептуры материалов на всех масштабных уровнях композита: от микро- до макроуровня. Требования к макроуровню (продукту технологии) определяет заказчик (внешняя среда, являющаяся по отношению к строительному материалу – сложной технической системе – надсистемой). Требования к предыдущим уровням определяются с учетом экстенсивных свойств используемых компонентов. Причем совмещается несколько компонентов, одним из которых является материал (структурный компонент), оптимизированный на предыдущем уровне. Таким образом, основные функциональные свойства материала должны повторяться на каждом структурном уровне материала и дополняться с учетом технологических особенностей рассматриваемого уровня.

В настоящее время для гражданского и жилищного строительства актуально применение отделочных составов, обеспечивающих высокие гигиенические и декоративные свойства покрытий, при повышенных показателях эксплуатационных свойств. Вяжущим веществом, обладающим рядом преимуществ, является строительная известь. Однако материалы на ее основе в условиях естественной атмосферы обладают низкими показателями эксплуатационных свойств, в частности, водо- и морозостойкости и т.д. Повышение значений этих и других эксплуатационных свойств возможно путем регулирования химического состава и параметров аморфно-кристаллической структуры известкового камня. Перспективным направлением такой модификации является использование наноразмерных добавок. В работах [2–4] предлагается в качестве добавки применять золь кремниевой кислоты. Размеры радиуса частиц золя кремниевой кислоты, определенные методом турбидиметрии в возрасте до 5 сут, составляют 17–25 нм, а в возрасте 7–19 сут – 57–140 нм. Методами рентгенофазового анализа и оптической микроскопии выявлено, что в присутствии золя кремниевой кислоты основными продуктами твердения являются гидратные фазы, близкие по химическому составу к C-S-H (II), а также кальцит и известь.

При введении в известковую композицию золя кремниевой кислоты формируется термодинамически устойчивая мелкокристаллическая структура известкового камня посредством образования центров кристаллизации, состоящих из продуктов химического взаимодействия наноразмерных частиц кремнезема с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а также вследствие их адсорбции на границе раздела фаз, обеспечивающей блокирование роста и перекристаллизации кристаллов извести.

При разработке рецептуры известковых отделочных составов установлена возможность использования в качестве наполнителя цветного суглинка Нижне-Аблязовского месторождения, имеющего красно-коричневый цвет. Установлено оптимальное соотношение известь:наполнитель, составляющее для красочных составов 1:3 с применением молотого суглинка удельной поверхности $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и для декоративных штукатурных составов 1:4 (песок фракции 0,16...0,315 мм, полученный из суглинка).

С учетом того, что свойства покрытий в числе других факторов определяются видом подложки, нами предлагается применять методику сравнительной оценки с использованием обобщенного критерия качества.

Качество отделочных покрытий в соответствии с декомпозицией системы критериев качества оценивали по показателям, приведённым в табл. 1. Значения показателей свойств для таких отделочных покрытий приведены в соответствующих нормативных документах, которые необходимо использовать при назначении граничных значений выделенных свойств.

Выделенные критерии (свойства) сгруппированы в обобщённом критерии качества следующего вида:

$$\Phi_{\text{п}} = \alpha_1 K_{\text{фм}} + \alpha_2 K_{\text{тех}} + \alpha_3 K_{\text{эст}} = \alpha_1 \sqrt[3]{k_r k_{\text{п}} k_{\text{адг}}} + \alpha_2 \sqrt[3]{k_{\text{в}} k_{\text{ж}} k_{\text{w}}} + \alpha_3 k_{\text{к}}, \quad \sum \alpha_i = 1,$$

где $K_{\text{фм}}$ – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства (предел прочности при сжатии, адгезионная прочность, паропроницаемость), вычисляемый по

формуле $K_{\text{фм}} = \sqrt[3]{k_r k_{\text{п}} k_{\text{адг}}}$; $K_{\text{тех}}$ – коэффициент, характеризующий технологические свойства (водоудерживающая способность, время высыхания материала до степени «5» при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и жизнеспособность материала отделочного покрытия), рассчитываемый по формуле $K_{\text{тех}} = \sqrt[3]{k_{\text{в}} k_{\text{ж}} k_{\text{в}}}$, $k_{\text{к}}$ – коэффициент, характеризующий класс качества внешнего вида.

Т а б л и ц а 1

Показатели качества тонкослойной штукатурки

Показатель	Формула для вычисления	Примечание
Критерий прочности	$k_R = \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{к,мак}}}$	$R_{\text{к}}$ – предел прочности при сжатии образца покрытия, МПа; $R_{\text{к,мак}}$ – предел прочности при сжатии образца-эталона (5 МПа [5])
Критерий паропроницаемости	$k_{\text{п}} = \frac{R^n}{R_{\text{к}}^n}$	R^n – коэффициент паропроницаемости образца, мг/ м·ч·Па; $R_{\text{к}}^n$ – базовое значение коэффициента паропроницаемости покрытия, мг/ м·ч·Па: – для ячеистого бетона – 0,05; – для тяжелого бетона – 0,03; – для кирпичной кладки – 0,011
Критерий адгезионной прочности	$k_{\text{адг}} = \frac{R_{\text{адг}}}{R_{\text{э,адг}}}$	$R_{\text{адг}}$ – адгезионная прочность покрытия, МПа; $R_{\text{э,адг}}$ – адгезионная прочность образца-эталона ($R_{\text{э,адг}} = 1$ МПа)
Критерий времени высыхания до степени «5» при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, мин	$k_{\text{в}} = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{э,в}}}$	$T_{\text{в}}$ – время высыхания материала до степени «5» при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, мин; $T_{\text{э,в}}$ – время высыхания материала образца-эталона до степени «5» при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, мин [5]
Критерий жизнеспособности при хранении в открытых ёмкостях	$k_{\text{ж}} = \frac{T_{\text{ж}}}{T_{\text{э,ж}}}$	$T_{\text{ж}}$ – жизнеспособность материала покрытия, ч; $T_{\text{э,ж}}$ – жизнеспособность материала покрытия-эталона, ч ($T_{\text{э,ж}} = 8$)
Критерий водоудерживающей способности	$k_{\text{в}} = \frac{W_{\text{п}}}{W_{\text{э}}}$	$W_{\text{п}}$ – водоудерживающая способность покрытия, %; $W_{\text{э}}$ – водоудерживающая способность базового образца (не менее 98 %)
Критерий класса качества внешнего вида	$k_{\text{к}} = \frac{K_{\text{п}}}{K_{\text{э.п}}}$	$K_{\text{п}}$ – класс качества внешнего вида отделочного покрытия; $K_{\text{э.п}}$ – класс качества внешнего вида образца-эталона; $k_{\text{к}} = 0$ – класс качества покрытия не удовлетворяет установленным требованиям; $k_{\text{к}} = 0,5$ – класс качества покрытия удовлетворяет установленным требованиям; $k_{\text{к}} = 1$ – класс качества покрытия превосходит установленные требования

Результаты расчёта обобщённого критерия качества для отделочных составов с учетом коэффициентов весоности и вида подложки приведены в табл. 2.

Результаты расчёта обобщённого критерия качества

Соотношение основных компонентов	Значения коэффициентов весомости			
	$\alpha_1 = 0,25$	$\alpha_1 = 0,25$	$\alpha_1 = 0,5$	$\alpha_1 = 0,33$
	$\alpha_2 = 0,25$	$\alpha_2 = 0,5$	$\alpha_2 = 0,25$	$\alpha_2 = 0,33$
	$\alpha_3 = 0,5$	$\alpha_3 = 0,25$	$\alpha_3 = 0,25$	$\alpha_3 = 0,33$
1	2	3	4	5
Подложка – ячеистый бетон				
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14мм	0,49	0,56	0,40	0,48
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, золь кремниевой кислоты, И:З=1:1	0,47	0,48	0,44	0,46
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, стабилизированный золь кремниевой кислоты, И:З=1:1	0,51	0,56	0,47	0,51
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, комплексная модифицирующая добавка, И:З=1:1	0,54	0,61	0,51	0,55
Подложка – тяжелый бетон				
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14мм	0,48	0,54	0,40	0,47
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, золь кремниевой кислоты, И:З=1:1	0,43	0,40	0,38	0,40
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, стабилизированный золь кремниевой кислоты, И:З=1:1	0,48	0,50	0,43	0,46
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, комплексная модифицирующая добавка, И:З=1:1	0,56	0,65	0,52	0,57
Подложка – кирпичная кладка из керамического кирпича				
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм	0,50	0,56	0,43	0,49
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, золь кремниевой кислоты, И:З=1:1	0,46	0,43	0,45	0,44
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, стабилизированный золь кремниевой кислоты, И:З=1:1	0,51	0,53	0,49	0,50
И:П=1:4, В/И = 1,2, суглинок фракции 0,314–0,14 мм, комплексная модифицирующая добавка, И:З=1:1	0,59	0,68	0,59	0,61

По результатам расчета обобщенного критерия видно, что в широком диапазоне значений коэффициентов весомости оптимальным является следующий состав: соотношение компонентов известь:песок=1:4, водоизвестковое отношение В/И = 1,2,

суглинок фракции 0,314–0,14 мм, комплексная модифицирующая добавка в соотношении известь:золь=1:1. Исходя из $R'' \leq 0,5$ мг/м·ч·Па следует считать, что данный состав можно применять для отделки поверхности конструкций из ячеистых бетонов.

Свойства разработанных отделочных покрытий приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Свойства разработанных отделочных покрытий

Наименование показателя	Значение показателя отечественного прототипа	Значение показателя разработанного состава
Адгезионная прочность $R_{сп}$, МПа	1,0–1,2	0,8–1,0
Когезионная прочность $R_{сж}$, МПа	1,7–1,9	1,5–1,7
Жизнеспособность при хранении в открытых ёмкостях, ч	5–7	6–8
Время высыхания до степени «5» при (20 ± 2) °С, мин, не более	47–50	52–55
Водоудерживающая способность, %	–	98
Рекомендуемая толщина одного слоя, мм	1–5	5–15
Расход отделочного состава при нанесении в 1 слой толщиной: – 1 мм, кг/м ² – 10 мм, кг/м ²	0,6–0,8 –	– 1,1–1,3
Коэффициент паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па	0,056	0,011

Таким образом, в соответствии с предложенным обобщенным критерием качества осуществлен выбор составов известковых отделочных покрытий, модифицированных золей кремниевой кислоты, с точки зрения обеспечения оптимальных значений физико-механических, технологических и эстетических свойств.

Список литературы

1. Федюкин, В.К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции [Текст] / В.К. Федюкин, В.Д. Дурнев, В.Г. Лебедев. – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», Рилант 2001. – 328 с.
2. Логанина, В.И. Известковые отделочные составы на основе золь-гель технологии [Текст] / В.И. Логанина, О.А. Давыдова // Строительные материалы. – 2009. – №3. – С. 50–51.
3. Логанина, В.И. Применение добавки золя кремниевой кислоты при изготовлении известковых отделочных составов [Текст] / В.И. Логанина, Н.А. Прошина, О.А. Давыдова // Известия вузов. Строительство. – 2009. – №6. – С. 30–32.
4. Логанина, В.И. Золь-гель технология для синтеза кремнийсодержащей добавки известковых отделочных составов [Текст] / В.И. Логанина, Н.А. Прошина, О.А. Давыдова // Строительные материалы. – 2009. – №7. – С.48–49.
5. DIN 18550. Штукатурные работы и штукатурные системы [Текст]. – Введ. 1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 13 с.

Московский государственный университет путей сообщения

Россия, 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, строение 9

Воронов Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент испытательного центра «Охрана труда и экологическая безопасность». E-mail: pvv-61@mail.ru.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Бобрышев Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих», чл.-корр. РААСН. Адрес: 440062, г. Пенза, пр. Строителей, д. 21, кв. 322. Тел. 8-927-371-32-31

Лакно Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство». Адрес: 440062, г. Пенза, пр. Строителей, д. 30, кв. 321. Тел.: 8-927-388-29-39 E-mail: Lakhnopenza@mail.ru.

Кувшинов Павел Игоревич, аспирант кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих» Адрес: г. Пенза, ул. Ладожская, д. 141, кв. 73. Тел.: 8-927-370-58-27

Туманова Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика» Тел.: 8-903-324-89-82

Moscow State University of Railway Transport

Russia, 127994, Moscow, 9, Obraztsova St., building 9

Voronov Pavel Vladimirovich, Candidate of Science, Associate Professor of the test center «Occupational and Environmental Safety» E-mail: pvv-61@mail.ru.

Penza State University of Architecture and Construction

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

Bobryshev Anatoly Nikolaevich, Doctor of Science, Professor of department «Technology of concrete, ceramics and binders», Corr. RAASN. Address: 440062, Penza, 21, Prospect Builders, ap. 322. Tel.: 8-927-371-32-31

Lakhno Alexander Viktorovich, Candidate of Science, Associate Professor of the department «Automobiles and automobile industry». Address: 440062, Penza, 30, Prospect Builders, ap. 321. Tel.: 8-927-388-29-39 E-mail: Lakhnopenza@mail.ru.

Kuvshinov Pavel Igorevich, Postgraduate of the department «Technology of concrete, ceramics and bindings» Address: Penza, 141, Ladogskay St., ap. 73. Tel.: 8-927-370-58-27.

Tumanova Natalya Nikolaevna, Candidate of Science, Associate Professor of the department «Mathematics». Tel.: 8-903-324-89-82

ОЦЕНКА КИНЕТИКИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ТВЕРДЕЮЩИХ ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛАХ

П.В. Воронов, А.Н. Бобрышев, А.В. Лакно, П.И. Кувшинов, Н.Н. Туманова

Проанализирована кинетика фазовых переходов в твердеющих материалах. Рассмотрены различные топологические модели. Установлена структурная размерность, влияющая на особенности протекания кинетических процессов. Представлено обобщенное уравнение, характеризующее фазовые переходы в твердеющих материалах и отражающее топологические особенности фазового состояния, которые непосредственно влияют на эволюцию процессов.

Ключевые слова: кинетика, размерность, фазовый переход, топология.

EVALUATION OF PHASE TRANSITIONS KINETICS IN HARDENING HETEROGENEOUS MATERIALS

P.V. Voronov, A.N. Bobryshev, A.V. Lakhno, P.I. Kuvshinov, N.N. Tumanova

The article analyzes the kinetics of phase transitions in a hardening material. We consider different topological models. A structural dimension that affects the flow characteristics of the kinetic processes is estimated. Generalized equation describing phase transitions kinetics in a hardening material and reflecting the topological features of a phase state, which directly affect the processes evolution is presented.

Keywords: kinetics, transition phase, dimension, topology.

Переход гетерогенных композитных систем из жидкообразного в твердообразное состояние связан с пространственно-временными структурными трансформациями. Временные (кинетические) зависимости довольно детально обсуждаются, тогда как механизм топологических переходов практически остается неизученным.

Наиболее адекватно пространственное разделение маточной (жидкообразной) и образующейся (кристаллитной) фаз представляется моделью Шкловского–Де Жена (рис.1), где кристаллитная фаза отображена линейными элементами [1, 2]. В изучаемом аспекте модель считается удачной, поскольку растущие линейные элементы в итоге покрывают представительское пространство (окончание процесса). Таким образом, кристаллитная фаза выглядит в виде пространственной искаженной сети, пронизывающей маточную среду. В процессе фазового перехода сеть становится более частой, а размер ее ячеек (l_i) неуклонно снижается. Происходит инверсия фаз, и маточная среда, изначально пространственно доминирующая, переходит в стадию вырождения.

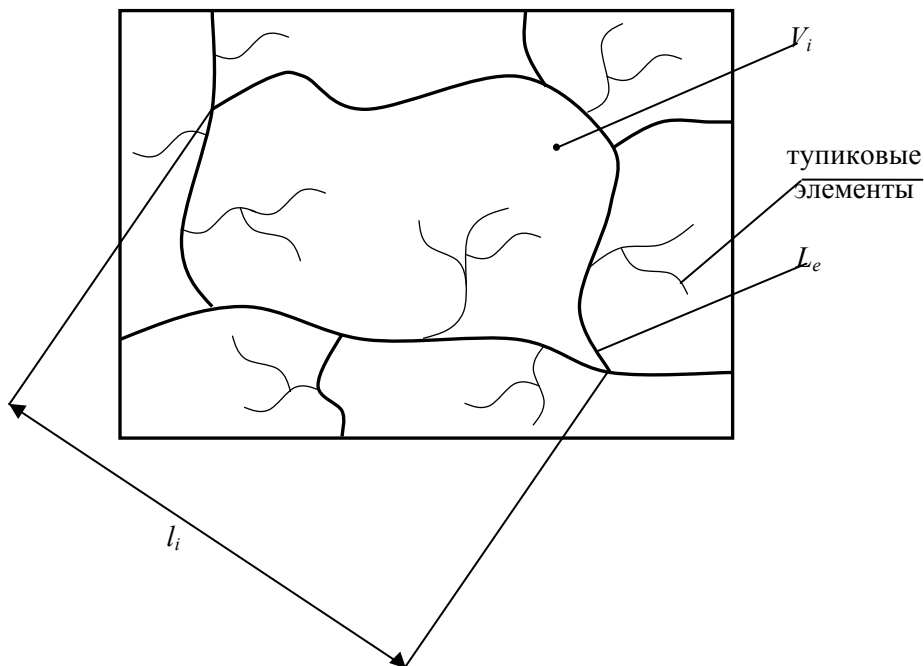


Рис. 1. Элемент плоской модели Шкловского–Де Жена

В подобной интерпретации топологического перехода фаз весьма важным моментом является установление структурной размерности, непосредственно влияющей на особенности протекания кинетических процессов. Сложность оценки размерности заключается в том, что она не имеет однозначного выражения. Действительно, систему можно параметризовать либо с позиции новой растущей фазы, либо с позиции маточной вырождающейся среды. В каждом случае размерности будут отличаться.

Проанализируем размерность более детально. Пусть задано ограниченное множество A , которое покрывается счетным количеством множеств E_i с размером $diam E_i < \varepsilon$ при $\varepsilon > 0$. Считается, что в ε – окрестности множества A объединение $\cup E_i$ является покрывающим, если оно размещает в себе исходное множество A . Выразим ε – окрестность, необходимую для покрытия множества A , в виде

$$m(A, d, \varepsilon) = \varepsilon^d N(\varepsilon),$$

где $N(\varepsilon)$ – число элементов по возможным покрытиям множества A . Поскольку $\varepsilon > 0$ и $m(A, d, \varepsilon) > 0$, то для $m(A, d, \varepsilon)$ существует минимум, характеризующий необходимое и достаточное ε – покрытие (при $\varepsilon \rightarrow 0$), определяющее множество A . Такая величина $m(A, d)$ называется d -мерой Хаусдорфа множества A и выражается как

$$m(A, d) = \limsup_{\varepsilon \rightarrow 0} \varepsilon^d N(\varepsilon).$$

Чаще запись этого выражения производится в упрощенной форме:

$$m(A, d) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \varepsilon^d N(\varepsilon). \quad (1)$$

Пусть имеется гладкая кривая L , которую нужно параметризовать. Покроем кривую L отрезками линии длиной ε , квадратами и кубами со стороной ε , в результате чего получим:

$$L(\varepsilon) = l \varepsilon^0, S(\varepsilon) = L \varepsilon^1, V(\varepsilon) = L \varepsilon^2. \quad (2)$$

Приведенные соотношения можно записать в ином виде:

$$L(\varepsilon) = L \varepsilon^{d-d_0}, S(\varepsilon) = L \varepsilon^{d-d_0}, V(\varepsilon) = L \varepsilon^{d-d_0}, \quad (3)$$

где $d \sim$ размерность покрывающих элементов; d_0 – определяющая размерность кривой L . По существу величины $L(\varepsilon)$, $S(\varepsilon)$, $V(\varepsilon)$ являются d -мерой Хаусдорфа, поэтому все равенства можно представить в обобщенной форме:

$$m(A, d) = L \varepsilon^{d-d_0}. \quad (4)$$

Однако только для первого соотношения (3) выполняется условие, когда покрывающая размерность равна определяющей ($d = d_0$), что приводит к равенству соответствия:

$$m(A, d_0) = L(\varepsilon) = L > 0. \quad (5)$$

В свою очередь, для второго и третьего выражений (3) при $\varepsilon \rightarrow 0$ получаем

$$m(A, d) = 0. \quad (6)$$

Таким образом, для рассматриваемого примера при $d > d_0$ выполняется условие (6) и только при $d = d_0$ d -мера Хаусдорфа имеет конечное положительное значение $m(A, d_0) = L > 0$. Поскольку $d_0 = 1$, то эта величина и является размерностью гладкой кривой L .

Рассмотрим следующий пример, в котором необходимо установить размерность нефрактальной объемной (V) фигуры (например, куба). Как и в предыдущем примере, покроем ее линейными, поверхностными и объемными элементами размером ε . Запишем отображающие равенства:

$$L(\varepsilon) = V \varepsilon^{-2}, S(\varepsilon) = V \varepsilon^{-1}, V(\varepsilon) = V \varepsilon^0. \quad (7)$$

Из выражений (7) следует, что обобщающее равенство представляется выражением

$$m(A, d) = V \varepsilon^{d-d_0}. \quad (8)$$

Здесь определяющей размерностью будет $d_0 = 3$, поскольку выполняется условие $d = d_0$, $m(A, d_0) = V > 0$. В свою очередь, при $d < d_0$, $m(A, d) = +\infty$ с учетом $\varepsilon \rightarrow 0$. Для фрактальных объектов (F) зависимость (8) принимает вид

$$m(A, d) = F \varepsilon^{d-D}. \quad (9)$$

Обобщая данные приведенных примеров и распространяя их на фрактальные объекты, отметим, что при $d > D$, $m(A, d)=0$; при $d < D$, $m(A, d) = +\infty$; при $d = D$, $m(A, D) = F > 0$. Тогда $m(A, D) \in [0, +\infty)$, в свою очередь

$$D \in [0, +\infty). \quad (10)$$

Условие (10) имеет принципиальное значение, поскольку отмечает интервал значений фрактальной размерности. Фрактальная размерность D чаще всего находится при использовании формулы (1):

$$m(A, D) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \varepsilon^D N(\varepsilon). \quad (11)$$

Из формулы (11) имеем:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln \left[\frac{m(A, D)}{\varepsilon^D} \right]}{\ln \varepsilon^{-1}} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln \varepsilon^{-1}}. \quad (12)$$

По существу выражение (12) является полным выражением внешней размерности [5].

Размерность D , полученная из выражения (12), часто называется кубической размерностью (*box dimension*), которая точно не совпадает с хаусдорфовой, за исключением самоподобных фракталов. В то же время хаусдорфова размерность не превышает кубическую.

Для неупорядоченных систем фрактальные объекты преимущественно реализуются либо в виде отдельных фрактальных кластерных агрегатов, не создающих перколяционного фона, либо в виде непрерывных перколяционных образований. В первом случае для определения фрактальной размерности используется так называемый массовый метод, основанный на скейлинговой зависимости

$$N \propto R^D,$$

где N – число образующих фрактальный агрегат частиц; R – размер фрактального агрегата.

При изменении размера R подсчитывается число частиц N . Далее в двойных логарифмических координатах строится прямая $N(R)$, тангенс угла наклона которой и будет являться фрактальной размерностью D в соответствии с выражением

$$D = \frac{\Delta \ln N}{\Delta \ln R}.$$

Если в фрактале образующие частицы отсутствуют либо не проявляются, то область размером R разбивается на элементы изображения (например, квадраты) и подсчитывается число элементов N , связанных с фракталом. Тем не менее такой метод не обеспечивает достаточной точности, ввиду того, что в значительной мере зависит от выбора границ фрактального агрегата.

Более точным является клеточный метод с использованием соотношения $N = \varepsilon^D$. По данному методу область фрактала разбивается на клетки размером ε и подсчитывается число клеток N , связанных с фракталом. В дальнейшем размер ε последовательно изменяется и находятся соответствующие величины N . При этом фрактальная размерность вычисляется по формуле

$$D = \frac{\ln N}{\ln \varepsilon}$$

или находится геометрическим методом по углу наклона прямой $N(\varepsilon)$, выполненной в двойных логарифмических координатах.

Рассмотрим композитную систему с обеих позиций, начиная с внешней параметризации. Принимая гипотезу о линейном отображении растущей кристаллитной фазы, представим ее в виде непрерывной кривой L_e без возвратов и самопересе-

чений, заматающей представительскую область композитной системы (рис. 1). Очевидно, что состояние кривой оценивается за порогом перколяции. В представленной модели предполагается, что непрерывность кривой L_e определяется ее прохождением по перколяционному каркасу. В свою очередь, тупиковые элементы в кривую L_e не включаются. Тем не менее динамика их разрастания и сращивания предопределяет формирование ячеек каркаса меньшего размера. В общем случае такая растущая кривая обладает фрактальными свойствами.

Рассмотрим участок фрактальной кривой (рис. 2) подразумевая, что в других масштабах он обладает автомодельными свойствами. Произведем оценку фрактальной размерности кривой в пространстве методом покрывающих кубов (*box dimension*), для чего разобьем область, прилегающую к кривой, на элементарные кубы размером ϵ так, чтобы кривая проходила через каждый куб [4, 5]. Определим суммарный объем V_e кубов, покрывающих кривую L_e при условии $\epsilon \rightarrow 0$. Если рассматривается нефрактальная кривая, то находим:

$$V_e(\epsilon) = \epsilon^2 L_e \propto \epsilon^2. \quad (13)$$

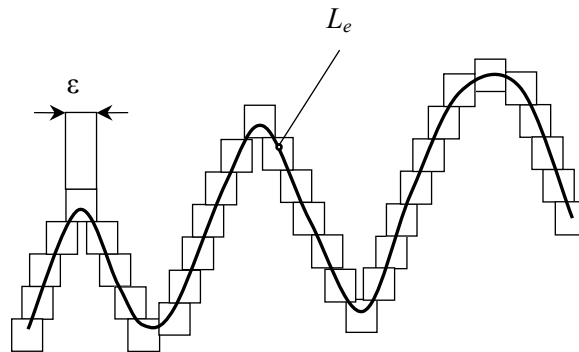


Рис. 2. Элемент фрактальной кривой

Для объема имеем

$$V_e(\epsilon) = \epsilon^0 V_e \propto \epsilon^0. \quad (14)$$

Фрактальная кривая занимает промежуточное место между линией и объемом. Для нее соответствующее условие представляется выражением

$$V_e(\epsilon) \propto \epsilon^{2H}, \quad (15)$$

где $1 \geq H \geq 0$, H – показатель Херста. Здесь индекс « e » *external* (внешний) подчеркивает то обстоятельство, что параметризация кривой осуществляется элементами объема (кубами размером ϵ), которые «стягиваются» к кривой L_e с внешней стороны при бесконечном уменьшении ϵ . Таким образом, фрактальная кривая оценивается внешним приближением. По Хаусдорфу, внешняя размерность D_e фрактальной кривой в пространстве определяется выражением [3, 6]

$$D_e = 3 - 2H, (1 \geq H \geq 0). \quad (16)$$

В пределах варьирования H размерность изменяется в интервале $3 \geq D_e \geq 1$. Отметим, что размерность D_e совпадает с размерностью физического пространства d для нефрактальных (гладких) объектов, линии $D_e = d = 1$ при $H = 1$, поверхности $D_e = d = 2$ при $H = 0,5$, для объема $D_e = d = 3$ при $H = 0$. Согласно формуле (16) размерность D_e может принимать дробные значения и не является инвариантом, поскольку зависит от введения меры на исследуемом объекте. Для полной длины фрактальной кривой L_e выполняется соотношение $L_e \propto \epsilon^{H-1}$.

Длина L_e не зависит от ее расположения (на плоскости или в пространстве). Поэтому произведем оценку адекватности последнего выражения для линейного фрактала на плоскости. Наиболее простым способом это реализуется в результате анализа геометрически правильного линейного фрактала. В этой связи подходящим

объектом является один из фракталов Коха (рис. 3). В отличие от фракталов Кантора, получающихся путем понижения размерности, представленный фрактал образуется в результате повышения размерности и занимает промежуточное положение между линией и поверхностью. На n -м этапе разбиения полная длина ломаной линии составляет $L_e = (5/3)^n$. При этом каждый прямолинейный участок равен $\varepsilon = (1/3)^3$. Размерность такого фрактала находится из выражения $D_e = \ln 5 / \ln 3 = 1,46$. Определяя величину n из первых двух равенств, имеем $\ln L_e = [\ln 5 / \ln 3 - 1] = \ln \varepsilon^{-1}$. С учетом значения размерности D_e находим:

$$L_e = \varepsilon^{1 - D_e} \quad (17)$$

Учитывая, что хаусдорфова размерность фрактальной кривой на плоскости определяется выражением $D_e = 2 - H$, окончательно получим искомую зависимость:

$$L_e = a \varepsilon^{H-1}, \quad (18)$$

где a – постоянная.

Если в качестве покрывающих элементов использовать линейные отрезки с разрешением ε , то параметризация линии L , поверхности S и объема V (при $\varepsilon > 0$) представляется выражениями

$$\begin{aligned} L_e(\varepsilon) &\propto L \varepsilon^0 \propto L > 0, \\ L_e(\varepsilon) &\propto S \varepsilon^1 \propto L > +\infty, \\ L_e(\varepsilon) &\propto V \varepsilon^2 \propto L > +\infty. \end{aligned} \quad (19)$$

Первое из них выполняется, согласно зависимости (18), при $H=1$, второе и третье – при $H = 0$. Параметризация поверхности и объема дает предсказуемую расходимость ($L_e \rightarrow +\infty$), а показатель Херста в обоих случаях остается неизменным $H=0$.

Таким образом, зависимость (18) дает адекватный результат лишь для гладкой кривой ($H = 1$). Для фрактальных областей ($1 > H > 0$), также как и в (19), наблюдается расходимость ($L_e \rightarrow +\infty$), при $\varepsilon \rightarrow 0$. В принципе длина $L_e(\varepsilon)$ фрактального объекта может быть оценена лишь с некоторой точностью, определяемой заданным ε -разрешением.

Перейдем к рассмотрению внутренней параметризации системы. Поскольку в твердеющем материале возникает фрактальный перколирующий кристаллитный массив, то формируется и сопряженный фрактал из маточной жидкообразной фазы. По существу для рассматриваемой системы кристаллитный структурный каркас является внешним топологическим объектом, тогда как жидкообразная маточная среда характеризуется внутренней метрикой, для которой наиболее подходящим и естественным параметром является размер l_i (см. рис 1) ячеек каркаса, образованного кривой L_e .

Таким образом, если нахождение внешней размерности D_e фрактальной кривой осуществлялось с помощью покрывающих пространственных объектов (см. рис. 2), то для внутренней метрики оценка пространственных (внутриячеек) областей V_i (индекс « i » internal внутренних) производится линейными элементами l_i .

Разрастание кристаллитной фазы происходит в результате присоединения к ней кинетических частиц маточной среды, вследствие их случайных блужданий. На рис. 4 схематически отмечены траектории частиц в маточном объеме V_i .

В качестве границ объема V_i принимается окружающий кристаллитный массив, на котором траектории заканчиваются. Для траектории блужданий, в отличие от траектории кривой L_e каркаса жесткой фазы, характерны возвраты и самопересечения.

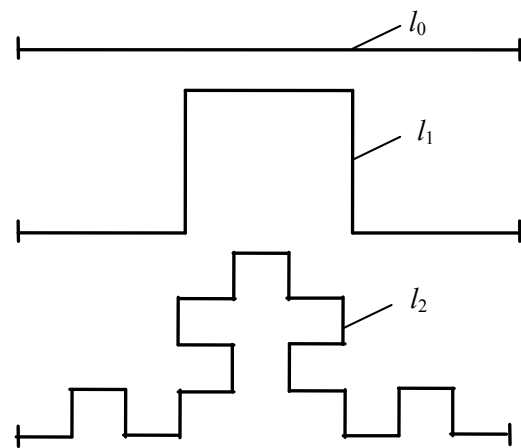


Рис. 3. Фрактал Коха

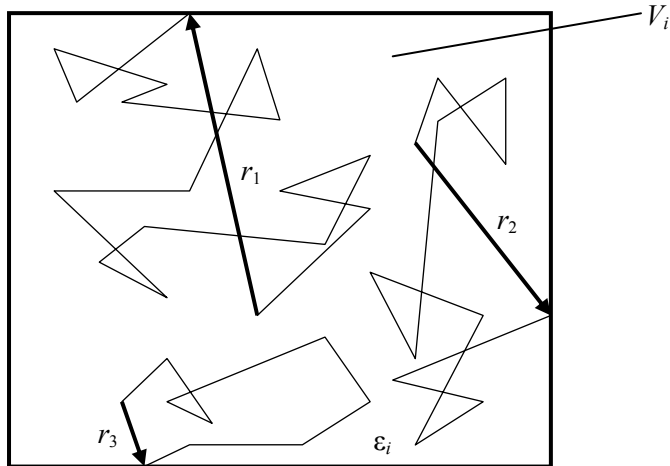


Рис. 4. Модель случайных блужданий кинетических частиц

В динамических процессах средняя величина модуля вектора, соединяющего начало и конец траектории случайных блужданий (см. рис. 4) в течение времени t , определяется известным [7–9] отображающим соотношением

$$r = \sum_i^N \frac{r_i}{N} \propto t^H, \quad (20)$$

которое справедливо для задач как на плоскости, так и в объеме. При неизменной средней скорости перемещений активных частиц время блужданий t пропорционально объему V_i , откуда имеем:

$$l_i \propto V_i^H, \quad (21)$$

где $l_i \approx 2r$. Величины l_i и V_i связаны между собой в натуральном измерении зависимостью

$$l_i^{D_i} \propto V_i, \quad (22)$$

где D_i – внутренняя размерность системы. В общем случае для фрактала можно записать $l_i^{D_i} \propto F_i$.

Согласно зависимостям (21) и (22) внутренняя размерность фрактальной кривой в пространстве составляет

$$D_i = 1/H \quad (23)$$

и определяется в интервале $\infty \geq D_i \geq 1$, который не укладывается в представление о физическом пространстве, тем не менее находится в допустимом интервале значений фрактальной размерности.

Сравнительный анализ выражений (16) и (23) показывает, что D_e и D_i совпадают с топологической размерностью d для нефрактальных линий $D_e = D_i = d = 1$ ($H=1$) и гладких поверхностных объектов $D_e = D_i = d = 2$ ($H=0,5$). В свою очередь, для объемных гладких областей они расходятся: $D_e = d = 3$ ($H=1$), тогда как $D_i = \infty$ ($H=0$).

Представим более детальное определение базовой зависимости (20). Поскольку траектория блужданий частиц не дифференцируема, разделим ее на n условно равных линейных отрезков размером ε_i , (см. рис. 4), которые отделяют внезапные изменения направления траектории. Время пребывания частицы на траектории ε_i определяется величиной t_i . Спроектируем отрезки ε_i на направление радиуса вектора r_i . Ввиду возвратности траектории блужданий модуль вектора r_i будет по-разному заселен проекциями ε_i . На некоторых участках r_i может происходить многократное наложение проекций. Поэтому в данном рассмотрении метод внешнего приближения по Хаусдорфу неприменим, поскольку предполагает лишь однократное ε_i покрытие.

Если рассматривать N фазовых траекторий, то для них величина r_i имеет различные значения за определенный интервал времени $t = n_i t_i$ в соответствии с гауссовым

поведением, а сама величина t является мерой средней величины линейного размера $r_i = \langle r_i \rangle$. Параметризация r с позиции внешнего приближения, согласно зависимостям (18), дает

$$r_i \propto \varepsilon^H, \quad (24)$$

где ε – линейная мера по Хаусдорфу. Для различных мер показатель Херста является инвариантом, в связи с чем внутренняя параметризация r выражается соотношением

$$r_i = \langle r_i \rangle \propto \varepsilon^H, \quad (25)$$

полностью совпадающим с соотношением (20). Действительно, мерой пространства является линейный размер, тогда как мерой процесса – время.

Следует отметить особенность в отличии методов внешней и внутренней параметризации. Попытка внешней параметризации фрактального объекта F непрерывной заматающей кривой $L_e(\varepsilon)$ не дает результата ввиду расходимости решений (19). В свою очередь внутренняя параметризация линейным элементом l_i имеет определенное конечное значение фрактального объекта.

Поскольку для размерностей D_e и D_i показатель Херста является инвариантом, то имеем:

$$D_e = 3 - (2/D_i) \text{ или } D_i = 2/(3 - D_e). \quad (26)$$

Рассмотрим динамику фазового перехода на модели заполнения внешней кривой L_e представительского объема V_m . Темп заметания объема кривой L_e определяется выражением

$$dV_e/dL_e = q(V_m - V), \quad (27)$$

где V – объем с заверренным фазовым переходом (заполненный кривой L_e); q – постоянный коэффициент. В свою очередь, ε – разрешение, которое с течением времени гиперболически снижается, поскольку заполняющая кривая становится все более извилистой на мелких масштабах, и составит:

$$\varepsilon = bt^{-1}, \quad (28)$$

где b – постоянная величина. Подстановка выражений (18) и (28) в (27) дает динамическую зависимость

$$dV/d(t^{H-1}) = k(V_m - V), \quad (29)$$

где $k = qa b^{H-1}$. Решение зависимости (29) приводит к кинетическому уравнению фазового перехода с внешним асимптотическим ограничением V_m .

$$V = V_m[1 - \exp(-k t^{H-1})]. \quad (30)$$

Анализ уравнения (30) показывает, что $n = 1 - H$. Поскольку $0 < H < 1$, то и показатель n изменяется в этом интервале $0 < n < 1$. Зависимость (30) можно получить, используя внутренние параметры системы. С развитием фазового перехода, с течением времени уменьшается ячеистое матричное пространство

$$l_i^{D_i} = ct^{-1}, \quad (31)$$

где c – постоянная. Из выражения (31) следует, что размер l_i составляет:

$$l_i = c^{1/D_i} t^{-1/D_i} = c^H t^{-H}. \quad (32)$$

В свою очередь, скорость роста внешней (фазовой) линии L_e с учетом выражений (18) и (28) определяется выражением

$$dL_e/dt = a b^{H-1} (1 - H) t^H. \quad (33)$$

Согласно выражениям (32) и (33) имеем:

$$dL_e/dt = a b^{H-1} c^H (1 - H) l_j = gl_j, \quad (34)$$

где g – комплексная постоянная. Соотношение (34) в целом связывает внешние L_e и внутренние L_i параметры системы. Данное выражение является вполне прозрачным, поскольку отражает то обстоятельство, когда большему размеру ячейки l_i (большой размер пространства, не занятый новой фазой L_e) соответствует повышенная скорость dL_e/dt , что представляется естественным, и наоборот. Таким образом, подставляя значение dL_e , выведенное из формул (33) или (34), в равенство (27), получаем конечное решение в виде кинетического уравнения (30).

Поскольку H – инвариант, показатель $(1-H)$ в уравнении (30) можно выразить как через внешнюю, так и через внутреннюю размерность:

$$(1-H) = (D_e - 1)/2; \quad (35)$$

$$(1-H) = 1 - (1/D_i). \quad (36)$$

Отметим, что уравнение (30) принимает тривиальную форму приближения среднего поля при $(1-H)$, которое обеспечивается условием $D_e \rightarrow 3$ и $D_i \rightarrow +\infty$. Действительно, при полном доминировании внешней растущей фазы ($D_e \rightarrow 3$), система переходит в однофазное состояние и рассматривается без учета фазовой гетерогенности.

Твердотельные свойства материалов формируются в результате кинетического перехода (30). Их показатели (прочность, модуль деформации и т.п.) изменяются в соответствии с этой закономерностью. Чаше можно встретить зависимость вида

$$x = x_m[1 - \exp(-kt^n)], \quad (37)$$

где x_m – стационарное значение показателя, $1 > n > 0$; n – эмпирический коэффициент.

Сравнение представленного уравнения с уравнением (30) показывает, что $n = 1 - H$. Таким образом, конкретный вид кинетической функции непосредственно определяется топологическим состоянием и изменчивостью фаз в гетерогенных системах.

В исходных предпосылках представленной модели заложено начальное условие образования перколирующего массива новой (внешней) фазы. Поэтому в целом сравнение с уравнением (30) оценивает кинетические процессы за порогом перколяции твердообразной фазы ($3 \geq D_e \geq 1$, $+\infty \geq D_i \geq 1$). К последним в первую очередь следует отнести кинетические процессы изменения физико-механических свойств материалов при фазовых переходах жидкость \rightarrow твердое тело. В целом, обобщенное уравнение (30) характеризует не только кинетику фазовых переходов в твердеющих материалах, но и отражает топологические особенности фазового состояния, непосредственно влияющие на эволюцию процессов.

Список литературы

1. Де Жен, П. Идеи скейлинга в физике полимеров [Текст] / П. Де Жен. – М.: Мир, 1982. – 368 с.
2. Шкловский, Б.И. Электронные свойства легированных полупроводников [Текст] / Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. – М.: Наука, 1979. – 279 с.
3. Федер, Е. Фракталы [Текст] / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 258 с.
4. Mandelbrot B.V. The fractal geometry of nature. – New York.: Freeman, 1982. – 176 p.
5. Mandelbrot B.V. Fractal form chance and dimension. – San Francisco.: Freeman, 1977. – 205 p.
6. Зельдович Я.Б., Соколов Д.Д. //УФН. – 1985. – Т. 146. – Вып. 3. – С. 493–506.
7. Соколов Д.Д. //УФН – 1985. – Т. 150. – Вып. 2. – С. 221 – 255.
8. Зосимов В.В., Лямшев Л.М. //УФН – 1995. – Т. 165. – № 4. – С. 361–402.
9. Алемской А.И., Флат А.Я. //УФН – 1993. – Т. 163. – № 12. – С. 1–50.

УДК 691.175.746

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Стандартизация,
сертификация и аудит качества».
Тел.: (8412)92-94-78.
E-mail: loganin@mail.ru

Макарова Людмила Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Стандартизация, сертификация
и аудит качества».
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Мокрушина Юлия Александровна,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества».
E-mail: Mokrushina11@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Standardization, Certification
and Quality Auditing».
Tel.: (8412)92-94-78.
E-mail: loganin@mail.ru

Makarova Ludmila Viktorovna,
Candidate of Science,
Associate Professor of the department
«Standardization, Certification and Quality
Auditing».
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Mokrushina Julia Alexandrovna,
Postgraduate of the department
«Standardization, Certification and Quality
Auditing».
E-mail: Mokrushina11@rambler.ru

СИНТЕЗ ОКРАШЕННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ*

В.И. Логанина, Л.В.Макарова, Ю.А. Мокрушина

Приведены сведения о составе окрашенных тонкодисперсных наполнителей для сухих строительных смесей, закономерностях влияния наполнителей на свойства покрытий на основе сухих строительных смесей.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, окрашенные наполнители, силикаты кальция.

SYNTHESIS OF COLORED FILLERS ON THE BASIS OF CALCIUM SILICATES FOR DRY MIXES

V. I. Loganina, L.V. Makarova, J.A. Mokrushina

The article provides information on the composition of colored fine fillers for dry mixes, patterns of fillers influence on the properties of coatings on the basis of dry mixes.

Keywords: dry mixes, colored fillers, calcium silicates.

Тонкодисперсные наполнители в последнее время находят самое широкое применение в различных промышленных технологиях, например в лакокрасочной, бумажной, резиновой, мыловаренной промышленности, промышленности по производству полимерных материалов, строительных изделий, средств защиты растений и т.д. Большую потребность в наполнителях испытывают предприятия, производящие сухие штукатурные смеси, предназначенные для декоративной отделки зданий [1].

Традиционным способом получения тонкодисперсного наполнителя является многоступенчатый помол различных природных и техногенных материалов. Однако у

* Работа выполнялась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (госконтракт с Федеральным агентством по образованию РФ № П1456).

этого способа имеются существенные недостатки, ограничивающие его использование, а именно: сложность технологии, высокие затраты энергии на помол, изменение состава размалываемого материала за счет попадания частиц мелющих тел и др.

Перспективным направлением в производстве строительных материалов и изделий, в том числе производстве сухих строительных смесей (ССС), является использование тонкодисперсных наполнителей на основе силикатов кальция. Однако месторождения минерального сырья, содержащего силикаты кальция (волластонита), в России не представляют коммерческого интереса, т.к. не могут обеспечить поставку на рынок достаточного количества волластонита удовлетворительного качества. В настоящее время наполнители – синтетический силикат кальция (волластонит), аморфный и кристаллический гидросиликат кальция (ксонотлит), можно промышленно производить из фосфогипса (крупнотоннажного отхода химических предприятий) с использованием технологии низкотемпературного гидротермального синтеза, который происходит при атмосферном давлении. Сушка и кристаллизация полученного продукта осуществляются при температуре 350–1000 °С [2]. Однако маркетинговые исследования показывают, что объем производства синтетического волластонита не удовлетворяет существующий на него спрос.

Синтетические силикаты можно получить осаждением из водных растворов силикатов натрия. В процессе синтеза наполнителей исходной реакцией является реакция гидролиза метасиликата натрия, приводящая к образованию гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Наличие таких химически активных веществ, как аморфный кремнезем, H_2O и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, приводит к реакции гидратации, то есть к образованию гидросиликатов кальция (ГСК), которые формируются в виде твердых растворов CSH (В), C-S-H (I), C-S-H (II) с разными областями гомогенности. Гидроксид кальция взаимодействует и с CO_2 , содержащимся в воздухе, образуя кальцит.

При получении объемно-окрашенных наполнителей введением добавок-хромофоров, например добавки хромофора FeCl_3 , происходит образование аморфного $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который при медленном гидролизе FeCl_3 выделяется в виде гётита FeOOH , или $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, образующего в процессе синтеза при взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ тринадцативодный четырёхкальциевый гидроферрит $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$. Все это в целом способствует упрочнению известковых композиций на основе предлагаемых наполнителей.

Была использована технология получения высокодисперсных наполнителей, заключающаяся в их синтезе из жидкого натриевого стекла в присутствии добавок-осадителей [3]. Жидкое стекло плотностью 1450 кг/м³ разбавляли в 2–4 раза, при этом его плотность снижалась до 1074–1130 кг/м³. Содержание добавки-осадителя CaCl_2 в виде 15 %-го раствора составляло 50 % от массы раствора жидкого стекла. Количество добавки хромофора составляло 1 % от используемого CaCl_2 . Образовавшийся осадок высушивали при температуре 100 °С.

Вещественный состав наполнителей определялся на дифрактометре ДРОН-2.

Синтез наполнителей характеризуется высокой скоростью осаждения, 95–100 %-й выход осадка достигается в течение первой минуты после ввода осаждающего агента. Установлено, что после высушивания при температуре 105 °С наполнитель имеет дисперсность, характеризуемую удельной поверхностью 7800–8400 см²/г, а при измельчении в течение 10 с – 35000–40000 см²/г. Плотность наполнителей составляет 2,2 г/см³.

На рис. 1 приведена рентгенограмма образцов наполнителей, полученных осаждением из жидкого стекла в присутствии добавки CaCl_2 . Как следует из рентгенограммы, на содержание тоберморита указывают пики с межплоскостными расстояниями (Å) 10,13; 3,582; 3,2936; 2,820; 2,719; 2,4662; 2,2827; 2,220. Вероятная формула: $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Пики, характерные для твердого раствора CSH(В), в виде слабозакристаллизованного геля, составят 3,039 Å; 2,82 Å; 1,823 Å. Выявлены пики при 2,875 Å; 2,8 Å; 2,22 Å; 2,22 Å; 2,062 Å; 1,823 Å; 1,629 Å; 1,41 Å, принадлежащие твердому раствору C-S-H (II). Идентифицируются линии, соответствующие $\text{Ca}(\text{OH})_2$: 4,765 Å; 3,14 Å; 1,4 Å, а также CaCO_3 в форме кальцита (3,858 Å; 3,039 Å; 1,410 Å), арагонита (1,869 Å; 1,660 Å; 1,297 Å), ватерита (1,262 Å; 1,995 Å).

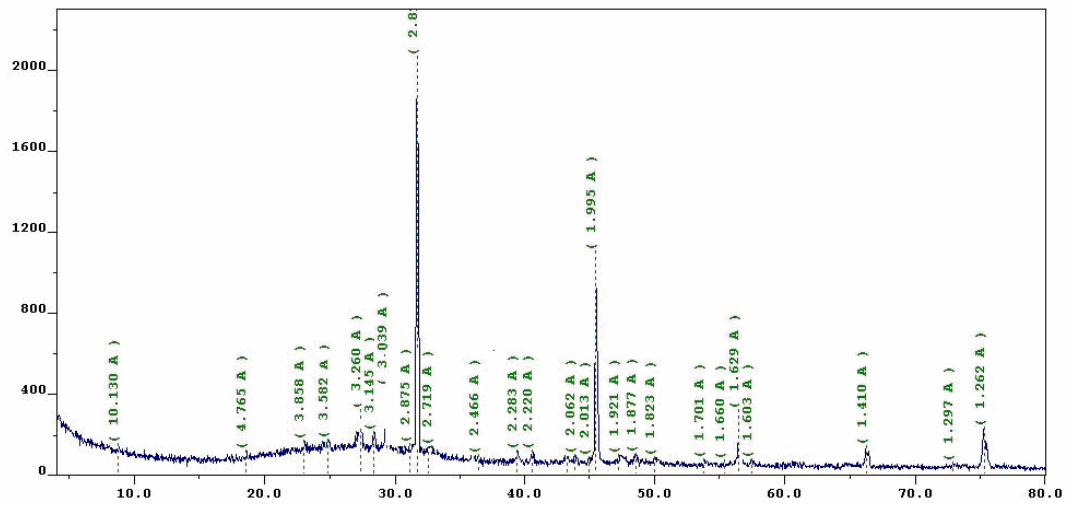
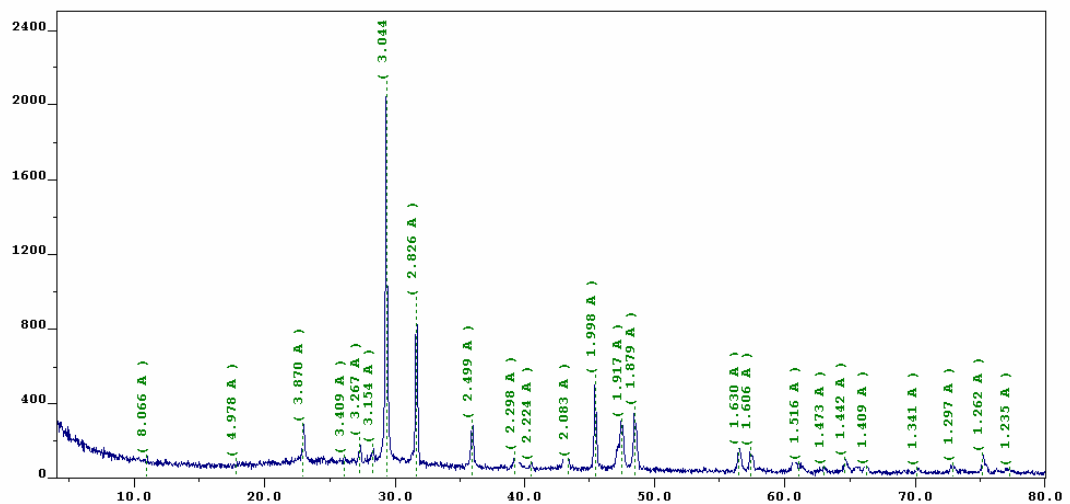


Рис.1. Рентгенограмма образцов наполнителя

На рис. 2 приведена рентгенограмма образцов наполнителей, полученных синтезом в присутствии добавки-хромофора FeCl_3 . Анализ рентгенограммы свидетельствует, что помимо новообразований, отмеченных на рис.1, также идентифицируются линии, соответствующие тринадцативодному четырёхкальциевому гидроферриту – $4\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ (8,066 Å; 2,499 Å).

На рентгенограмме образцов наполнителей, полученных синтезом в присутствии добавки хромофора CuSO_4 , дополнительно идентифицируются линии, принадлежащие гипсу $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3,047 Å; 2,504 Å; 2,63 Å; 1,607 Å), а также линии слабой интенсивности, принадлежащие диоптазу $6\text{CuO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (рис.3).

Рис.2. Рентгенограмма образцов наполнителя (с добавкой хромофора FeCl_3)

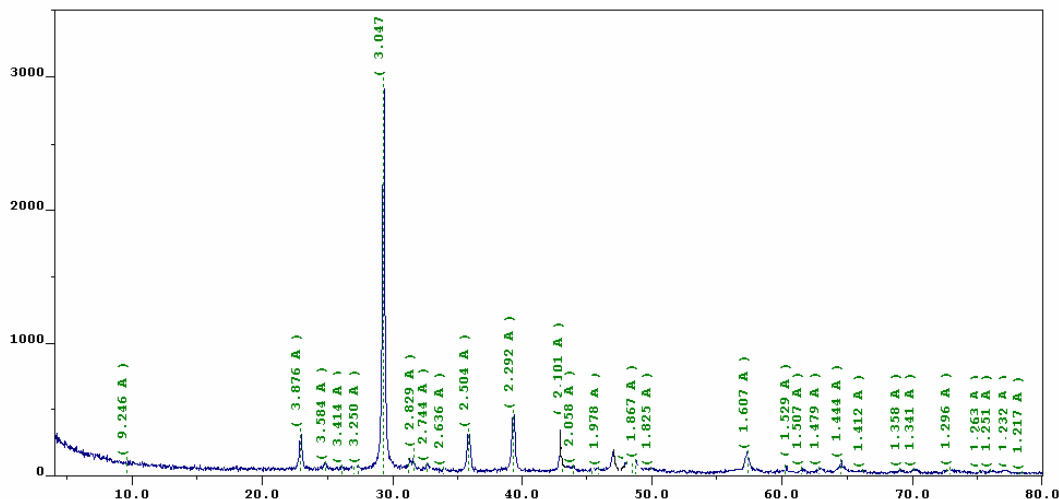


Рис.3. Рентгенограмма образцов наполнителя (с добавкой хромофора CuSO_4)

В таблице приведены значения прочности известковых композиций с применением наполнителей на основе силикатов кальция. Прочность известковых композиций в присутствии окрашенных наполнителей зависит от водоизвесткового отношения (В/И). Так, при В/И=0,65 при соотношении известь:наполнитель=И:Н=1:0,3 прочность при сжатии и применении окрашенных наполнителей составляет $R_{сж}$ =3,84...3,85 МПа, в то время как контрольного – 4,56 МПа. При В/И=1,2 прочность известкового композита оказывается выше и составляет 1,32–1,92 МПа, а контрольного – 0,7 МПа. Аналогичные закономерности наблюдаются и при соотношении И:Н=0,5. На наш взгляд, различие в показателях прочности известковых композиций объясняется большей удельной поверхностью окрашенных наполнителей и связанной с этим их водопотребностью. При низких значениях В/И количество воды недостаточно и формируется более дефектная структура известкового композита. При оптимальном В/И отношении достигается большая прочность при применении окрашенных наполнителей по сравнению с неокрашенными.

Влияние дисперсных наполнителей на прочность известковых композиций

Состав (известь: наполнитель)	Водоизвестковое отношение В/И	Прочность, МПа	
		при сжатии	при изгибе
1:0,3	0,65	4,56	1,34
1:0,3 (с добавкой хромофора)	0,65	3,84/3,86	1,14/2,62
1:0,3	0,9	5,14	1,17
1:0,3 (с добавкой хромофора)	0,9	2,88/3,2	1,22/1,6
1:0,3	1,2	0,7	0,21
1:0,3 (с добавкой хромофора)	1,2	1,32/1,92	0,49/0,99
1:0,5	1	3,3	0,65
1:0,5 (с добавкой хромофора)	1	2,88/3,08	0,56/2,13
1:0,5	1,2	1,04	0,39
1:0,5 (с добавкой хромофора)	1,2	2,56/2,82	0,96/1,2
1:0,5	1,4	0,84	0,18
1:0,5 (с добавкой хромофора)	1,4	1,16	0,6
1:1	1,2	5,04	1,78
1:1(с добавкой хромофора)	1,2	3,08	1,14

П р и м е ч а н и е . В числителе указаны составы с применением наполнителя с добавкой хромофора FeCl_3 ; в знаменателе – составы с применением наполнителя с добавкой хромофора CuSO_4

Установлено, что полученные окрашенные наполнители обладают средней окрашивающей способностью, они устойчивы к действию щелочей. Введение окрашенных наполнителей в известковую смесь ускоряет процесс твердения извести. Так, время высыхания известкового состава на растворной подложке до степени 3 составляет 10–15 мин, до степени 5 – 20–25 мин. Известковая краска обладает высокой водоудерживающей способностью, хорошо наносится на отделяемую поверхность цементно- и известково-песчаной штукатурки. Класс качества внешнего вида составляет V-VI.

По результатам проведенных исследований, разработаны рецептура и технология получения окрашенных наполнителей с использованием их в качестве наполнителя в составе известковой краски, предназначенной для отделки внутренних и наружных стен зданий. Полученные составы обладают при нанесении хорошей удобоаносимостью, декоративной выразительностью, хорошей совместимостью с ранее нанесенными известковыми составами, позволяют разнообразить внешний вид сооружения.

Разработан состав шпатлевки с применением наполнителей, полученных синтезом с применением натриевого жидкого стекла. Шпатлевка предназначена для выравнивания бетонных и штукатурных поверхностей с последующей окраской известковыми составами.

Установлено также, что тонкодисперсные окрашенные наполнители, полученные синтезом при введении добавки хромофора FeCl_3 , состоят из низкоосновных гидросиликатов кальция, кальцита и тринадцативодного четырёхкальциевого гидроферрита, а при введении медного купороса – гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и диоптаза $6\text{CuO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, что предопределяет их химическое взаимодействие с минеральным вяжущим и способствует повышению прочности известковых композитов.

Список литературы

1. Зоткин А.Г. Применение наполнителей в строительных смесях [Текст] / А.Г. Зоткин // Сухие строительные смеси. – 2009. – № 3. – С.66–68.
2. Пат. 2133218 Российская Федерация, МКЛ С01В33/12. Способ получения высокодисперсных порошков [Текст] / В.А. Лотов, В.И. Верещагин, В.И. Косинцев, Ю.В. Пасечников; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет.
3. Логанина, В.И. Штукатурные составы для реставрационных работ с применением окрашенных наполнителей [Текст] / В.И. Логанина, Л.В. Макарова // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – №1. – С.38.

УДК 536.63

Московский государственный технический университет им. Баумана

Россия, 107005, г. Москва,
ул. 2-я Бауманская, д. 5,
тел.: (095) 261-1743; факс: (095) 2679893

Бреховских Владимир Валерьевич,
студент гр. Ф-62
E-mail: fedorov@intered.mgtu.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Кошев Николай Александрович,
аспирант кафедры «Физика»

Савченкова Светлана Федоровна,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Физика»

Московская международная академия
бизнеса и управления
(филиал в г.Протвино)

Россия, 142280, Московская обл.,
г. Протвино, Молодежный проезд, д.2

Савченкова Мира Викторовна,
кандидат физико-математических наук,
ассистент кафедры «Информатика»

Bauman Moscow State Technical University

Russia, 107005, Moscow, 5, 2-ya Baumanskay,
tel.: (095) 261-1743; fax: (095) 2679893

Brekhovskikh Vladimir Valeryevich,
student of group F-62
E-mail: fedorov@intered.mgtu.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Koshev Nikolay Aleksartdrovich,
Postgraduate of the department «Physics»

Savchenkova Svetlana Feodorovna,
Candidate of Science in Physics
and Mathematics, Associate Professor
of the department «Physics»

*International academy of Business &
management Protvino branch*

Russia, 142280, Moscow Region,
Protvino, 2, Molodezhny proyezd

Savchenkova Mira Viktorovna,
Candidate of Science in Physics
and Mathematics, Postgraduate of the
department «Informatics»

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТИ НАНОКОМПЗИТНЫХ, ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ HoCo_5 , DyCo_5 , YCo_5

В.В. Бреховских, Н.А. Кошев, М.В. Савченкова, С.Ф. Савченкова

Изучаются особенности поведения теплоемкости интерметаллических соединений HoCo_5 , DyCo_5 , YCo_5 . Получены экспериментальные кривые теплоемкости C_p указанных соединений в широкой области температур (4,2–530 К), оценены электронный и решеточный вклад в теплоемкость.

Ключевые слова: интерметаллические соединения, температура, структура, редкоземельный металл, наноккомпозиты.

PECULIARITIES OF INTERMETALLIC COMPOUNDS HoCo_5 , DyCo_5 , YCo_5 HEAT CAPACITY BEHAVIOUR

V.V. Brekhovskikh, N.A. Koshev, M.V. Savchenkova, S.F. Savchenkova

The article tells us about the research of intermetallic compounds HoCo_5 , DyCo_5 , YCo_5 heat capacity behaviour. The aims of the articles are: to get experimental curves of temperature (4,2–530 K), to evaluate electronic and grating contribution into heat capacity.

Keywords: intermetallic compounds, rare-earth metal, structure, temperature, nanocomposites.

Острый энергетический кризис вызвал необходимость разработки эффективных теплозащитных материалов. Например, энергоснабжение только гражданских зданий требует использования более 1/3 добываемого в нашей стране топлива, а применение эффективных теплоизоляционных материалов в наружных ограждающих конструкциях дает возможность уменьшить их теплопотери на 12–25%. Следовательно, задача материаловедения – создание, исследование и разработка новых защитных материалов, обладающих повышенными теплозащитными свойствами [1, 2].

Одно из важных направлений развития магнетизма – разработка новых функциональных материалов – уже на ранних этапах экспериментального и теоретического исследования ферромагнетиков находило важное практическое применение.

Интенсивно исследуемое в настоящее время превращение намагниченности в ферромагнетиках и сопутствующие разнообразные физические явления также представляют интерес для новых нанотехнологий. Поэтому авторы продолжают исследование интерметаллических соединений RCO_5 .

Интерметаллические соединения RM_5 , где R – редкоземельный элемент (РЗМ) или иттрий, а M – Co, являются интереснейшими физическими объектами. Немаловажным обстоятельством, стимулирующим изучение этих соединений, является то, что в последнее десятилетие особенно сильно возросло практическое использование РЗМ и их соединений, обладающих уникальными физическими свойствами. Указанные сплавы имеют такие замечательные свойства, как высокие значения магнитных моментов, рекордно большие значения точки Кюри, огромную энергию магнитокристаллографической анизотропии (МКА), спиориентационные переходы (СОП), возникающие при наложении внешнего магнитного поля и изменении температуры. Указанное сочетание свойств обуславливает их применение в технике в качестве постоянных магнитов, термореле, термомагнитных генераторов.

Анализ литературных данных [1–3] показал, что к началу выполнения настоящей работы достигнуты значительные успехи в понимании природы магнетизма указанных соединений. Была создана феноменологическая теория МКА интерметаллических соединений RCO_5 [1, 2], которая объясняет ряд особенностей в поведении основных магнитных характеристик, связанных с огромной величиной энергии МКА [2–4]. Однако существует очень мало работ как теоретических, так и экспериментальных, связанных с описанием термодинамических свойств указанных соединений.

Ставится следующая задача: изучить тепловые свойства соединений $HoCo_5$ для выяснения особенностей поведения различных вкладов в теплоемкость (решеточного и электронного).

Исследования теплоемкости указанных соединений проводились в широкой области температур от 4,2 К до 530 К. Ультразвуковым методом была определена температура Дебая для данных соединений.

Поликристаллические образцы соединений $HoCo_5$, YCo_5 в виде слитков были получены методом индуктивной плавки в атмосфере аргона. Чистота исходных материалов составляла: 99,9% массы для Ho и Y. Для выплавки образцов использовали алундовые тигли. Во избежание дефектов текстуры слитки измельчались в порошок размером меньше $5 \cdot 10^{-3}$ мм в агатовой ступке и проверялись в ходе рентгено- и нейтронографических исследований.

Рентгенографические исследования фазового состава проводились на установке «Дрон-2» с использованием Си-излучения. Монохроматизация пучка осуществлялась кварцевым монохроматором. Измерения проводились при комнатной температуре.

Калориметрическая система представляет собой физическую систему, состоящую из совокупности отдельных тел, между которыми происходит теплообмен путем проводимости, конвекции или излучения.

В технике низких температур принят для исследования метод адиабатной оболочки.

Температура в интервале от 4,2 К до 20 К измерялась термометром сопротивления ТГ-2 с погрешностью $\pm 0,05$ К; в области температур 20–300 К – платиновым термо-

метром ТСПН с погрешностью 2 К, а в области выше 300 К – с погрешностью до 3 К. Для обработки данных использовался метод наименьших квадратов.

Решеточный вклад $C^{реш}$ в общую теплоемкость данного соединения определяется расчетом [4] по формулам:

$$C^{реш} = 3NkD(x_D) \cdot n \text{ при } T < \theta_D; \quad (1)$$

$$C^{реш} = 3Nkn \left\{ 1 - \frac{1}{20} (x_D)^2 \right\} \text{ при } T > \theta_D. \quad (2)$$

Оценка необходимой для этого температуры Дебая (θ_D) производилась по измеренным средним скоростям распространения продольных C_e и C_t звуковых волн при комнатной температуре на поликристаллическом образце NiCo_5 . Проводя вычисления по формуле

$$\theta_D = \frac{h}{k} \left(\frac{qN}{4\pi V} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1}{C_e^3} + \frac{2}{C_t^3} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

получили: $\theta_D \cong 323 \text{ К}$. Данное значение достаточно хорошо согласуется с имеющимися в литературе [4] значениями $\theta_D = 320 \text{ К}$.

Указанные выше значения температуры Дебая определяются коэффициентом β по формуле

$$\beta = \frac{12\pi^4 \cdot n \cdot R}{5\theta_D^3}. \quad (4)$$

Для $\theta_D = 320 \text{ К}$, $\beta = 3,856 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}^4}$.

На рис. 1 приведены экспериментальные значения C_p в области температур 4,2–530 К.

Кроме того, оценка решеточного вклада в общую теплоемкость производилась по известным формулам Дебая для металлов ($\theta_D^{\text{Co}} = 194,5 \text{ К}$ и $\theta_D^{\text{Ho}} = 385 \text{ К}$), предложенным в работе [4]:

$$C^{реш} = 3Nk \left[D \left(\frac{\theta_D^{\text{Ho}}}{T} \right) + 5D \left(\frac{\theta_D^{\text{Co}}}{T} \right) < \theta_D \right] \text{ при } T < \theta_D; \quad (5)$$

$$C^{реш} = 3Nk \left[6,5 \left\{ \frac{1}{20} \left(\frac{\theta_D^{\text{Ho}}}{T} \right)^2 + 5 \left(\frac{\theta_D^{\text{Co}}}{T} \right)^2 \right\} \right] \text{ при } T > \theta_D. \quad (6)$$

Как видно из рис. 2, в интервале температур 4,2–15 К зависимость $C_{p/T}$ от T^2 линейна. Экстраполяцией линейной части на ось координат получаем коэффициент, характеризующий электронный вклад в общую теплоемкость ($\gamma = 11,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}^2}$).

Коэффициент β при кубическом члене определен по наклону кривой на рис. 2 ($\beta = 5,185 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}^4}$).

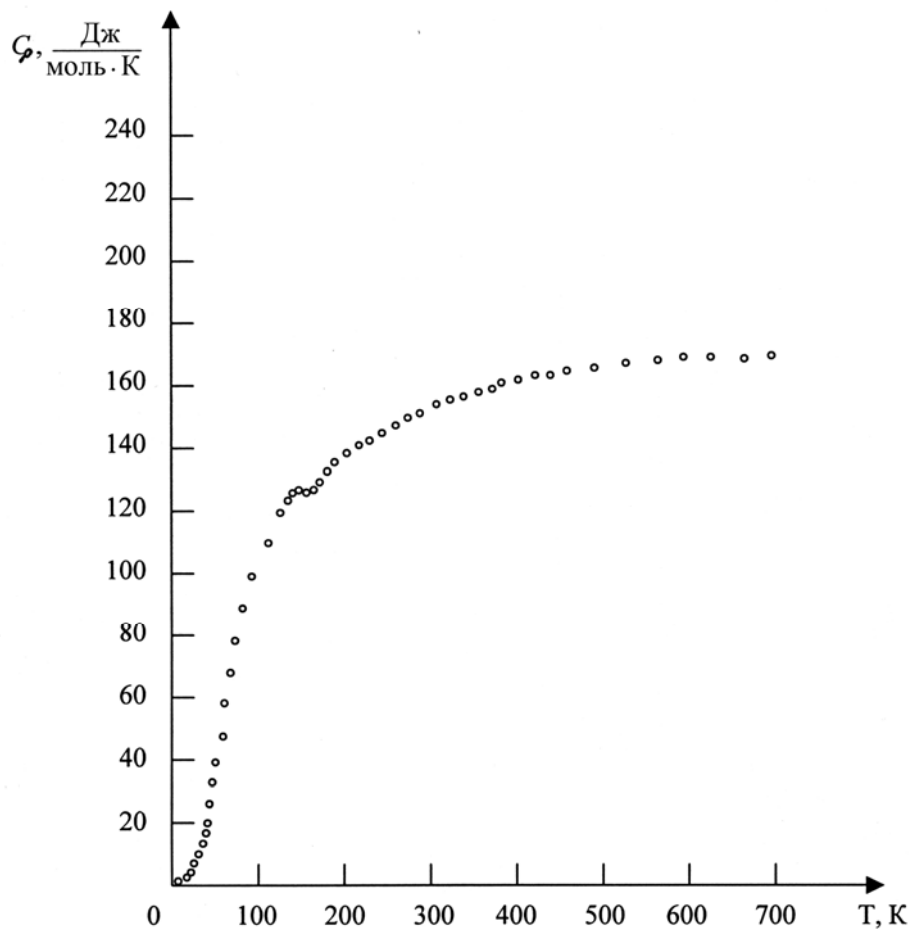


Рис.1. Зависимость теплоемкости C_p от температуры интерметаллического соединения NiCo_5

Значения коэффициентов γ и β определялись с помощью МНК ($\gamma = 11,405 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}^2}$; $\beta = 5,1670 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}^4}$).

По полученному значению определялась температура Дебая:

$$\theta_D = 2\pi^3 \sqrt{\frac{3\pi R n}{10\beta}} = 290 \text{ К}. \quad (7)$$

Сравнивая значения β , полученные из эксперимента по теплоемкости, со значениями β , полученными по θ_D из ультразвуковых измерений, можно видеть, что, очевидно, имеется еще один вклад в общую теплоемкость C_p в соединении NiCo_5 , зависимость которого от температуры близка к кубической.

По известной температуре Дебая ($\theta_D = 375 \text{ К}$) для интерметаллического соединения YCo_5 определяется решеточный вклад.

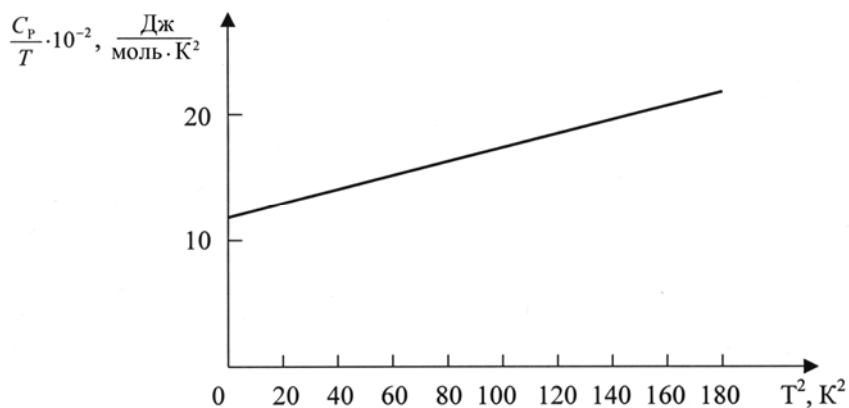


Рис.2. Зависимость величины $\frac{C_p}{T}$ от T^2 интерметаллического соединения HoCo_5

Полученные результаты хорошо согласуются с данными, представленными в работе [5], и дают возможность разработки нанотехнологий и создания на их основе новых магнитных материалов. Впервые получены экспериментальные кривые теплоемкости C_p от температуры соединений HoCo_5 и YCo_5 в широкой области температур (80–530 K). Для соединения HoCo_5 определен коэффициент γ и по нему рассчитан электронный вклад (γT) в теплоемкость ($C_p^{\text{э}}(T)$). Для соединения HoCo_5 определен коэффициент β и по нему рассчитан решеточный вклад (βT^3) в теплоемкость ($C_p^{\text{реш}}(T)$). Для соединений HoCo_5 и YCo_5 определены решеточные вклады по найденной экспериментально температуре Дебая θ_D ($C_p^{\text{реш}}$).

Список литературы

1. Пивень, А.Н. Теплофизические свойства полимерных материалов [Текст]: справочник / А.Н. Пивень. – М.: Высш. шк., 1976. – С. 179.
2. Golovanov O.A., Makeeva G.S., Pardavi-Horvath M.. New Approach Using Universal Autonomous Bocks with Floquet Channels for Rigourous Mathematical Modeling of Microwave Devices. Proceedings of PIERS 2006, Tokyo, Japan, 2-5aug. 2006/ Published by The Electromagnetics Academy, Cambridge, USA, Printed in Tokyo, Japan, 2006.p.230.
3. Савченкова, М.В. Инновационные модели сверхвысокочастотных устройств [Текст] / М.В. Савченкова, О.А. Вдовкина // Новые технологии в образовании, науке и экономике: тр. XXIV Междунар. симпозиума. – Сингапур, 2009. – С. 54–56.
4. Влияние магнитной анизотропии на температурную зависимость намагниченности некоторых соединений RCO_5 [Текст] / А.С. Ермоленко [и др.] // ЖЭТФ. – 1975. – Т. 69. – С.1743–1752.
5. Параметры межподрешеточного обмена в интерметаллическом соединении TbCo_3 [Текст] / В.В. Бреховских, Н.А. Кошев, И.Д. Караман, С.Ф. Савченкова // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – №2(7). – С.29–33.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 69.04

*Московский государственный
строительный университет*

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

Мондрус Владимир Львович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительная
механика».
Тел. +7 (495) 287-49-14.
E-mail: mondrus@mail.ru

Шутовский Станислав Николаевич,
аспирант кафедры «Строительная
механика».
E-mail: shutovsii@mail.ru.

Moscow State University of Civil Engineering

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

Mondrus Vladimir Lvovich,
Doctor of Science, Professor, Head
of the department «Structural Mechanics».
Тел. +7 (495) 287-49-14.
E-mail: mondrus@mail.ru

Shutovskiy Stanislav Nicolaevich,
Postgraduate of the department «Structural
Mechanics».
E-mail: shutovsii@mail.ru.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЙ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ

В.Л. Мондрус, С.Н. Шутовский

Предлагается способ расчета зданий периодической (регулярной) структуры на динамические воздействия, в частности на колебания основания. Приводятся формулы для получения частот и форм собственных колебаний такой модели, а также для расчета вынужденных колебаний. В качестве примера расчета получены собственные частоты, формы модели здания и формы вынужденных колебаний при перемещении основания по гармоническому закону.

Ключевые слова: периодическая модель, расчет, колебания.

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF REGULAR STRUCTURE BUILDINGS

V.L. Mondrus, S.N. Shutovskiy

A new way of regular structure buildings calculation on dynamic action and foundation beat in particular is given. They give formulas for getting this model's oscillation frequency and form and formulas for forced oscillation calculation. As an example they have get own frequencies, building model forms and forced oscillation forms, at foundation displacement according to harmonic law.

Keywords: periodic model, analysis, vibration.

Многие из современных большеобъемных зданий и сооружений фактически состоят из сравнительно малого числа многократно повторяющихся основных элементов. Тем самым несущий скелет основной массы строящихся крупнопанельных, каркасно-панельных и каркасных жилых и общественных зданий, каркасных промышленных зданий, а также монолитных зданий с равномерной сеткой колонн или стен и т.п. состоит из одинаковых по своему конструктивному решению ячеек, т.е. представляет собой периодическую (регулярную) структуру либо по высоте здания, либо по длине или ширине, либо по двум или даже трем направлениям одновременно.

Для зданий периодической структуры при изучении их динамических свойств целесообразно использовать дискретные периодические и ступенчато-периодические расчетные модели, состоящие из конечного числа масс, соединенных между собой упругими связями.

Рассмотрим свободные поперечные колебания ограниченной одномерной периодической расчетной модели, состоящей из k масс, соединенных между собой упругими связями. Жесткость связи между любыми двумя соседними массами на взаимное поперечное сведение в направлении оси принимаем равной $\rho_y = \rho \left[\frac{H}{M} \right]$. Предполагаем, что первая масса упруго связана с фиксированной точкой (основанием), а k -я масса свободна.

При изучении колебаний будем пользоваться методом комплексных амплитуд, позволяющим устанавливать простую и наглядную связь между величинами, характеризующими колебательный процесс.

Частоты колебаний модели с жестким защемлением в основании

Обозначим через y_1, y_2, \dots, y_n поперечные смещения различных масс от своего положения равновесия. Тогда разрешающая система уравнений движения запишется в виде

$$\begin{aligned} M \ddot{y}_1 + \rho(2y_1 - y_2) &= 0; \\ \dots \\ M \ddot{y}_n + \rho(-y_{n-1} + 2y_n - y_{n+1}) &= 0; \\ \dots \\ M \ddot{y}_k + \rho(y_k - y_{k-1}) &= 0. \end{aligned} \tag{1}$$

Разыскивая решение системы в виде гармонических волн

$$y_n(t) = A_n e^{[i(\omega t - \theta)]} = 0, \quad n=1,2,\dots,k \tag{2}$$

и обозначив
$$\frac{M\omega^2 - 2\rho}{\rho} = 2\xi, \tag{3}$$

получаем систему алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} 2\xi A_1 + A_2 &= 0; \\ \dots \\ A_{n-1} + 2\xi A_n + A_{n+1} &= 0; \\ \dots \\ A_{k-1} + (2\xi + 1) A_k &= 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Приравнивая определитель к нулю и решая полученное уравнение, находим k значений ξ_j , каждому из которых соответствует одна из собственных частот ω_j расчетной модели.

Получим формулы для определения частот свободных колебаний расчетной модели:

$$\omega_j = 2\sqrt{\frac{\rho}{M}} \cdot \cos \frac{j\pi}{2k+1} \quad \text{или} \quad \omega_j = 2\sqrt{\frac{\rho}{M}} \cdot \sin \frac{(\tilde{j}-\frac{1}{2})\pi}{2k+1}, \quad (5)$$

где $j = 1, 2, \dots, k$ – номер частоты, начиная с высшей, а $\tilde{j} = k + 1 - j = 1, 2, \dots, k$ – номер частоты, начиная с низшей.

Формы колебаний

Каждой частоте свободных колебаний расчетной модели соответствует своя форма свободных колебаний, определяемая аналитически для любой n -й массы выражением (2). Входящие в это выражение амплитуды могут быть найдены в результате решения однородной системы (4) с точностью до постоянного множителя.

Получаем:

$$y_{n,j}(t) = (-1)^{k+n} A_j \sin \frac{2\pi j n}{2k+1} \cos \left(2t \sqrt{\frac{\rho}{M}} \cos \frac{\pi j}{2k+1} - \phi_j \right)$$

или

$$y_{n,\tilde{j}}(t) = (-1)^{k+n} A_{\tilde{j}} \sin \frac{2\pi n(k+\tilde{j})}{2k+1} \cos \left(2t \sqrt{\frac{\rho}{M}} \cos \frac{(k+\tilde{j})\pi}{2k+1} - \phi_{\tilde{j}} \right), \quad (6)$$

где $A_j, A_{\tilde{j}}$ и $\phi_j, \phi_{\tilde{j}}$ – произвольные постоянные.

В общем случае свободные колебания n -й массы расчетной модели описываются формулой

$$y_n(t) = (-1)^{k+n} \sum_{j=1}^k A_j \sin \frac{2\pi j n}{2k+1} \cos \left(2t \sqrt{\frac{\rho}{M}} \cos \frac{\pi j}{2k+1} - \phi_j \right)$$

или

$$y_n(t) = (-1)^{k+n} \sum_{\tilde{j}=1}^k A_{\tilde{j}} \sin \frac{2\pi n(k+\tilde{j})}{2k+1} \cos \left(2t \sqrt{\frac{\rho}{M}} \cos \frac{(k+\tilde{j})\pi}{2k+1} - \phi_{\tilde{j}} \right). \quad (7)$$

Все $2k$ произвольных постоянных вида A_j и ϕ_j можно выразить через $2k$ начальных условий движения каждой массы при $t = 0$, которыми являются перемещения массы $y_n(0)$ и ее скорость $\dot{y}_n(0)$.

$$y_n(0) = (-1)^{k+n} \sum_{j=1}^k A_j \sin \frac{2\pi j n}{2k+1} \cos \phi_j; \quad \dot{y}_n(0) = (-1)^{k+n} 2t \sqrt{\frac{\rho}{M}} \sum_{j=1}^k A_j \cos \frac{2\pi j}{2k+1} \sin \frac{2\pi j n}{2k+1} \sin \phi_j. \quad (8)$$

При заданной частоте колебаний длина волны в дискретной расчетной модели не зависит от того, является ли исследуемая расчетная модель ограниченной или неограниченной. Поэтому длину волны λ_j , соответствующую j -й частоте свободных колебаний, находим, приравняв правые части выражения (5) и соответствующего рассматриваемой расчетной модели дисперсионного соотношения:

$$\cos \frac{j\pi}{2k+1} = \sin \left(\frac{\pi h}{\lambda_j} + 2\pi r \right), \quad \text{откуда} \quad \lambda_j = \frac{(2k+1)h}{k + \frac{1}{2} - j - 2(2k+1)r}, \quad r = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

Если величину r положить равной нулю, наименьшая длина такой волны определяется по формуле

$$\lambda_j = \frac{(2k+1)h}{k + \frac{1}{2} - j} \quad \text{или} \quad \lambda_j = \frac{(2k+1)h}{\tilde{j} - \frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Вынужденные колебания периодических расчетных моделей

Рассмотрим вынужденные колебания расчетной модели, первая (нижняя) масса которой связана с основанием, совершающим колебания по произвольному закону $Y_0(t)$.

Для того чтобы в дальнейшем при решении задачи можно было воспользоваться методом комплексных амплитуд, разложим выражение для $Y_0(t)$ на произвольном промежутке времени в ряд Фурье в комплексной форме:

$$Y_0(t) = \sum_{\alpha=-\infty}^{+\infty} C_{0,\alpha} e^{i\alpha\omega t}, \quad (11)$$

где

$$C_{0\alpha} = \frac{1}{T} \int_0^{\infty} Y_0(t) e^{-i\alpha\omega t} dt. \quad (12)$$

Разрешающая система уравнений движения, кроме уравнения для первой массы, имеет вид (1). Уравнение для первой массы записывается следующим образом:

$$M \ddot{y}_1 + \rho(2y_1 - y_2) = \rho \sum_{\alpha=-\infty}^{+\infty} C_{0,\alpha} e^{i\alpha\omega t}. \quad (13)$$

Стационарное решение такой системы дифференциальных уравнений будем разыскивать в виде

$$y_n(t) = \sum_{\alpha=-\infty}^{+\infty} A_{n,\alpha} C_{0,\alpha} e^{i\alpha\omega t}. \quad (14)$$

Справедливо: $[2\rho - M(\alpha\omega)^2] A_{1,\alpha} - \rho A_{2,\alpha} = \rho C_{0,\alpha}$.

Аналогичные алгебраические уравнения могут быть получены для n -й массы. Таким образом, разрешающая система дифференциальных уравнений приводится к системе алгебраических уравнений с неизвестными величинами $A_{n,\alpha}$.

Определитель D_α системы оказывается равным нулю в том случае, когда частота колебаний основания совпадает с одной из частот свободных колебаний расчетной модели. При этом наблюдается явление резонанса, и амплитуда колебаний становится бесконечно большой. Нам интересен случай, когда и амплитуда колебаний является конечной величиной.

В зависимости от диапазона изменения аргумента $\xi_\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{M(\alpha\omega)^2}{\rho} - 2 \right)$ полиномы Гегенбауэра имеют различную тригонометрическую или алгебраическую запись. Найдем выражения для искомых функций перемещений масс расчетной модели в зависимости от диапазона изменения параметра ξ_α :

$$y_n(t) = (-1)^n \sum_{\alpha=-\infty}^{+\infty} S_{n,\alpha\xi_\alpha} C_{0,\alpha} e^{i\alpha\omega t}, \quad (15)$$

где

$$S_{n,\alpha(|\xi_\alpha|<1)} = \frac{\sin(k-n+1/2)\theta_\alpha}{\sin(k+1/2)\theta_\alpha}, S_{n,\alpha(\xi_\alpha=1)} = 1 - \frac{2n}{2k+1}, S_{n,\alpha(\xi_\alpha>1)} = \frac{\text{sh}(k-n+1/2)\theta_\alpha}{\text{sh}(k+1/2)\theta_\alpha}. \quad (16)$$

Выражение (15) описывает движение каждой массы расчетной модели при колебании основания по произвольному закону $Y_0(t)$. Анализ показывает, что в зависимости от диапазона изменения величины ξ_α существенным образом меняется не только количественный, но и качественный характер движения масс расчетной модели.

Действительно, с возрастанием номера массы n при $0 \leq |\xi_\alpha| < 1$ вдоль расчетной модели распространяется колебание с неубывающей амплитудой; при $\xi_\alpha = 1$ амплитуда колебания начинает убывать, причем убывание происходит сравнительно медленно по линейному закону; при $\xi_\alpha > 1$ амплитуда убывает значительно быстрее, чем в предыдущем случае. В последнем случае, если $\xi_\alpha \gg 1$ (что соответствует достаточно большой величине) $\theta_\alpha = 1$: $A_{n,\alpha(\xi_\alpha \gg 1)} \approx (-1)^n c_{0,\alpha} e^{-n\theta_\alpha}$.

Из этого выражения видно, что при $\xi_\alpha \gg 1$ абсолютное значение амплитуд колебаний уменьшается вдоль расчетной модели по экспоненциальному закону. Таким образом, если число масс достаточно велико, то колебания, возникшие на одном конце расчетной модели, практически не достигают другого ее конца. При дальнейшем возрастании параметра ξ_α (после того, как его величина стала больше 1) зона активных колебаний (число активно колеблющихся масс) уменьшается, и при очень большом ξ_α фактически будет колебаться только основание, а расчетная модель будет оставаться в покое.

Величина ξ_α поставлена в строгое соответствие с частотой определенного гармонического колебания. Поэтому каждому из рассмотренных диапазонов изменения величины ξ_α соответствует вполне определенный интервал изменения частоты ω_α : для $0 \leq |\xi_\alpha| < 1$ из формулы (5) находим: $0 < \omega_\alpha = \alpha\omega < 2\sqrt{\frac{\rho}{M}}$, для $\xi_\alpha = 1$ получаем $\omega_\alpha^{пр} = 2\sqrt{\frac{\rho}{M}}$. При этом величина $\omega_\alpha^{пр}$ является для рассматриваемой расчетной модели предельной частотой, при которой убывание амплитуды вдоль расчетной модели происходит по линейному закону; для $1 < \xi_\alpha < \infty$ получаем неравенство $2\sqrt{\frac{\rho}{M}} < \omega_\alpha < \infty$. В этом случае убывание амплитуды происходит по закону, близкому к экспоненциальному.

При изменении частоты ω_α от нуля до ее предельной величины $\omega_\alpha^{пр} = 2\sqrt{\frac{\rho}{M}}$ длина волны изменяется от ∞ до $2h$. При возрастании частоты возмущающих колебаний сверх предельной ($\omega_\alpha > 2\sqrt{\frac{\rho}{M}}$) длина волны остается постоянной и равной $\lambda = 2h$.

Как уже отмечалось, убывание вдоль расчетной модели амплитуды колебаний при $\xi_\alpha > 1$ связано не с диссипацией энергии, а является непосредственным следствием дискретности расчетной модели.

Свободные и вынужденные колебания зданий

Расчетная модель таких зданий принимается одномерной, представляющей собой защепленный в основание невесомый стержень с бесконечно большой изгибной и конечной по величине приведенной сдвиговой жесткостью $[Gf]$ и сосредоточенными в уровне междуэтажных перекрытий массами (рис.1).

Для определения частот и форм свободных колебаний расчетной модели необходимо знать жесткость связи между двумя соседними массами. Эту жесткость

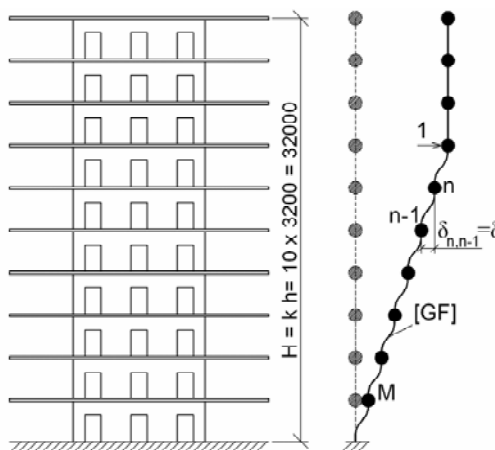


Рис. 1. Расчетная модель

определяем как величину, обратную взаимному поперечному смещению соседних масс от единичной силы, по формуле

$$\rho = \frac{1}{\delta_{n(n-1)}} = \frac{1}{\delta_n - \delta_{n-1}}, \quad (17)$$

где δ_n, δ_{n-1} – соответственно перемещения n -й и $(n-1)$ -й масс от действия единичной силы, приложенной выше $(n-1)$ -й массы. Из рис. 1 видно, что

$$\delta_{n(n-1)} = \delta_n - \delta_{n-1} = \frac{nh}{[GF]} - \frac{(n-1)h}{[GF]} = \frac{h}{[GF]} \text{ и } \rho = \frac{1}{\delta_{n(n-1)}} = \frac{[GF]}{h}. \quad (18)$$

При этом формулы (7) и (12) принимают вид

$$\omega_j = 2\sqrt{\frac{[GF]}{hM}} \cdot \sin \frac{(\tilde{j} - \frac{1}{2})\pi}{2k+1}, \quad y_{n,\tilde{j}}(0) = (-1)^{k+n} A_{\tilde{j}} \sin \frac{2\pi n(k + \tilde{j})}{2k+1} \cos \phi_{\tilde{j}}. \quad (19)$$

Для примера рассмотрим 10-этажное здание. Приведенную сдвиговую жесткость здания принимаем равной $[GF] = 8,225 \cdot 10^8$ Па. При этом жесткость связей на взаимное поперечное смещение оказывается равной $\rho = 2,632 \cdot 10^9$ Н/м. Масса этажа $M = 2,063 \cdot 10^5$ кг.

Частоты и формы свободных колебаний определяем по формулам (19), с учетом того, что множитель $C_{\tilde{j}} = A_{\tilde{j}} \cos \phi_{\tilde{j}}$ является для j -й частоты свободных колебаний рассматриваемой расчетной модели величиной постоянной; не влияет на форму колебаний.

Подсчитанные по формуле круговые частоты свободных колебаний расчетной модели и соответствующие им периоды колебаний приведены в таблице.

Круговые частоты и периоды колебаний

Номер частоты \tilde{j}	Частота ω_j (1/с)	Период колебаний T_j (с)	Номер частоты \tilde{j}	Частота ω_j (1/с)	Период колебаний T_j (с)
1	16,9	0,372	6	165,6	0,038
2	50,3	0,125	7	186,7	0,034
3	82,5	0,076	8	203,5	0,031
4	113	0,056	9	215,9	0,029
5	140,8	0,045	10	223,4	0,028

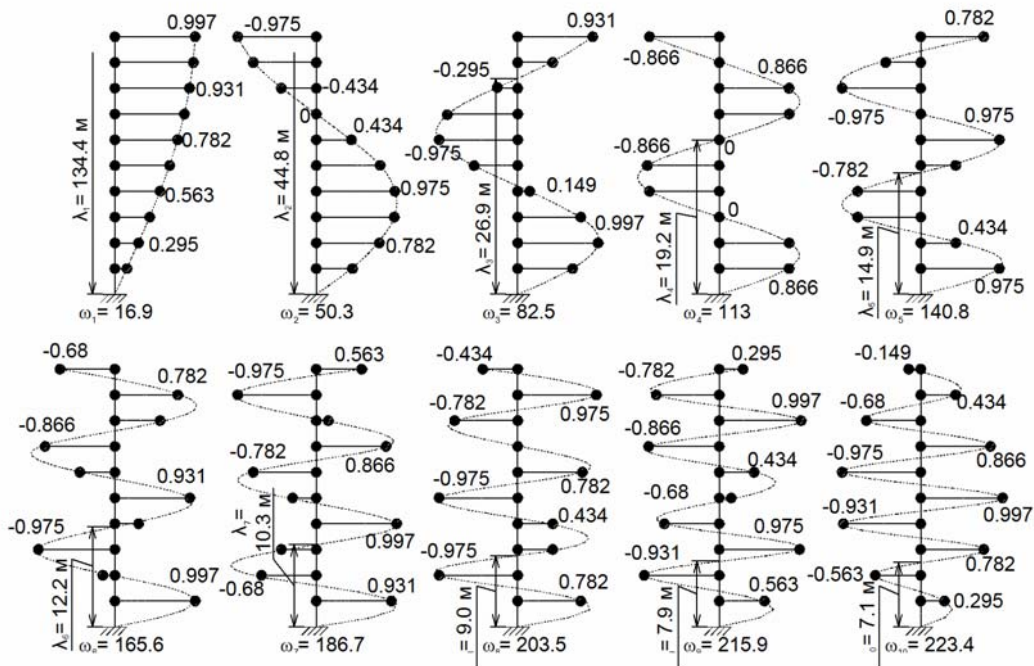


Рис. 2. Распределение амплитуд и длин волн

$$\text{Предельная частота расчетной модели } \omega_{\alpha}^{\text{пр}} = 2\sqrt{\frac{\rho}{M}} = 225,9 \frac{1}{\text{с}}.$$

Распределение амплитуд для всех форм свободных колебаний расчетной модели показано на рис.2. Приведенные на рисунке пунктирные кривые построить по формуле (20) нельзя, т.к. структура этой формулы отражает дискретный характер задачи. Можно построить только ординаты отдельных точек, соответствующих заданным значениям n и \tilde{j} .

Подсчитанные по второй из формул (10) длины волн приведены на том же рис.2.

$$\text{Перемещения основания по закону } Y_0(t) = Y_0 e^{i\omega t}$$

Чтобы получить достаточно полную картину, рассмотрим колебания расчетной модели при четырех различных значениях частоты внешнего возмущения:

$$\omega_1 = 10 \frac{1}{\text{с}} < \omega_{\tilde{j}=1}, \quad \omega_{\tilde{j}=3} < \omega_2 = 100 \frac{1}{\text{с}} < \omega_{\tilde{j}=4}, \quad \omega_3 = 225,9 \frac{1}{\text{с}} = \omega_{\text{пр}}, \quad \omega_4 = 240 \frac{1}{\text{с}} > \omega_{\text{пр}}.$$

При $\alpha = 1$ формула (15) принимает вид

$$\xi = \frac{M\omega^2}{2\rho} - 1 = 0,392 \cdot 10^{-4} \omega^2 - 1. \quad (21)$$

По этой формуле находим: $\xi_1 = -0,996$, $\xi_2 = -0,608$, $\xi_3 = 1$, $\xi_4 = 1,257$ и соответственно $\theta_1 = \arccos \xi_1 = 3,053$, $\theta_2 = \arccos \xi_2 = 2,244$, $\theta_3 = \arccos \xi_3 = 0,011$, $\theta_4 = \arccos \xi_4 = 0,703$.

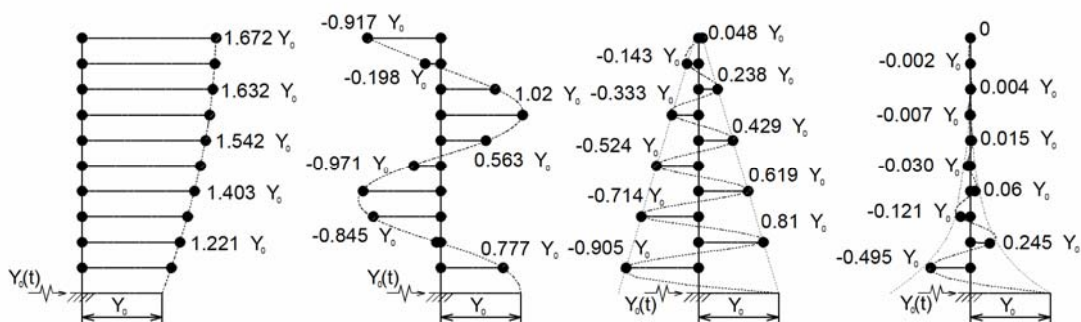


Рис. 3. Эпюры амплитудных значений перемещений масс для четырех различных значений частоты внешнего возмущения

Подсчитанные по формулам для нагрузки в виде колеблющегося основания эпюры амплитудных значений перемещений масс для четырех различных значений частоты внешнего возмущения показаны на рис.3.

Список литературы

1. Бриллюэн, Л. Распространение волн в периодических структурах [Текст] / Л. Бриллюэн, М. Пароди. – М.: ИЛ, 1959.
2. Вольфсон, Б.П. О собственных колебаниях одномерной периодической системы [Текст] / Б.П. Вольфсон // Исследования по теории сооружений: сборник; под. ред. проф. Б.Г.Коренева, чл.-корр. АН СССР И.М.Рабиновича, проф. А.Ф.Смирнова. – Вып. XVII. – М.: Стройиздат, 1969.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Баранова Тамара Ивановна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Строительные конструкции». Адрес: 440600, г. Пенза, ул. Урицкого, д. 18, кв.92. Тел.: 8 (841) 48-27-37

Гучкин Игорь Сергеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции». Адрес: 440000, г. Пенза, ул. Московская, д.82, кв.91. Тел.: 8 (841) 52-43-95

ООО «Академпроект»
Россия, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28, корп.4.
тел.: (8412) 42-42-30, 42-43-20

Сафронов Дмитрий Николаевич, инженер, аспирант кафедры «Строительные конструкции». Адрес: г. Пенза, ул. Минская, д.11, кв.52. Тел.: 89273896034. E-mail: sdimokn@rambler.ru

Penza State University of Architecture and Construction

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

Baranova Tamara Ivanovna, Doctor of Science, Professor, Head of the department «Building structures». Address: 440600, Penza, 18, Uritskogo St., ap. 92. Tel: 8 (841) 52-43-95

Guchkin Igor Sergeevich, Candidate of Science, Professor of the department «Building structures». Address: 440000, Penza, 82, Moskovckay St., ap.91. Tel: 8 (841) 52-43-95

ООО «Akademproekt»
Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., building 4
tel.: (8412) 42-42-30, 42-43-20

Safronov Dmitriy Nikolaevich, Ingeneer, Postgraduate of the department «Building structures»
Adress: 440600, Penza, 11, Minskaya St., apt. 52.
Tel.: 89273896034..
E-mail: sdimokn@rambler.ru

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПЛИТ, УСИЛЕННЫХ С ДВУХ СТОРОН СЛОЯМИ БЕТОНА, СОЕДИНЁННЫМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ШПОНКАМИ

Т.И. Баранова, И.С. Гучкин, Д.Н. Сафронов

Приводятся результаты экспериментальных исследований железобетонных плит, усиленных наращиванием/подрачиванием сечения, и железобетонных шпонок, используемых для соединения слоёв монолитного бетона.

Ключевые слова: железобетонная плита, усиление, наращивание/подрачивание сечения, железобетонная шпонка, экспериментальные исследования.

BEARING ABILITY AND RIGIDITY OF SLABS INFORCED ON BOTH SIDES WITH CONCRETE LAYERS AND LINKED BY REINFORCED DOWELS

T.I. Baranova, I.S. Guchkin, D.N. Safronov

The article presents the results of experimental studies of reinforced concrete slabs reinforced by increase-rearing sections and reinforced dowels (cotter) used to connect the layers of monolithic concrete.

Keywords: reinforced concrete slab, reinforcement, increase/rearing section, reinforced insertion (cotter), experimental studies.

Железобетонные конструкции по составу исходных материалов достаточно долговечны и не нуждаются в специальном усилении, если эксплуатируются в нормальных температурно-влажностных условиях и при отсутствии агрессивной среды. В таких

условиях работает относительно небольшой класс конструкций, расположенных внутри жилых и общественных зданий или же в сооружениях, эксплуатируемых в теплых и сухих климатических районах. Для большинства же конструкций промышленных предприятий свойственны слабо- и сильноагрессивные среды.

Под влиянием агрессивной среды в бетоне и, особенно, в арматуре развиваются физико-химические и физико-механические деструктивные процессы, в результате которых коррозия арматуры может достигать 50 % и более.

Особую актуальность приобретает проблема усиления плит междуэтажных перекрытий, замена или усиление которых чрезвычайно дорогостоящи и трудоемки. Наиболее оптимальным нам представляется усиление плит методом наращивания/подращивания сечения монолитным бетоном с соединением слоёв на шпонках. Для выяснения характера работы и надёжности усиления был спланирован и проведен физический эксперимент.

Программа проведения физического эксперимента включала в себя изготовление трёх образцов плит с размерами в плане 1400×900×70 мм. Образцы представляли собой сплошные железобетонные плиты, усиленные методом наращивания/подращивания и отличающиеся по коэффициенту армирования шпонок и наличию адгезии в контактной зоне между основной плитой и нижним слоем усиления, а именно: в образцах №1 и №2 коэффициент армирования шпонок составлял: $\mu=0,012$, в образце №3 – $\mu=0,006$. В образце №2 между основной плитой и нижним слоем, для исключения адгезии и её влияния на прочность усиленной плиты использовалась прокладка из полиэтиленовой пленки.

Для испытаний образцов плит равномерно распределенная нагрузка заменялась на эквивалентную по моменту нагрузку, создаваемую сосредоточенными силами, возникшими посредством домкрата через систему распределительных балок. Результаты испытания плит показаны на рис. 1.

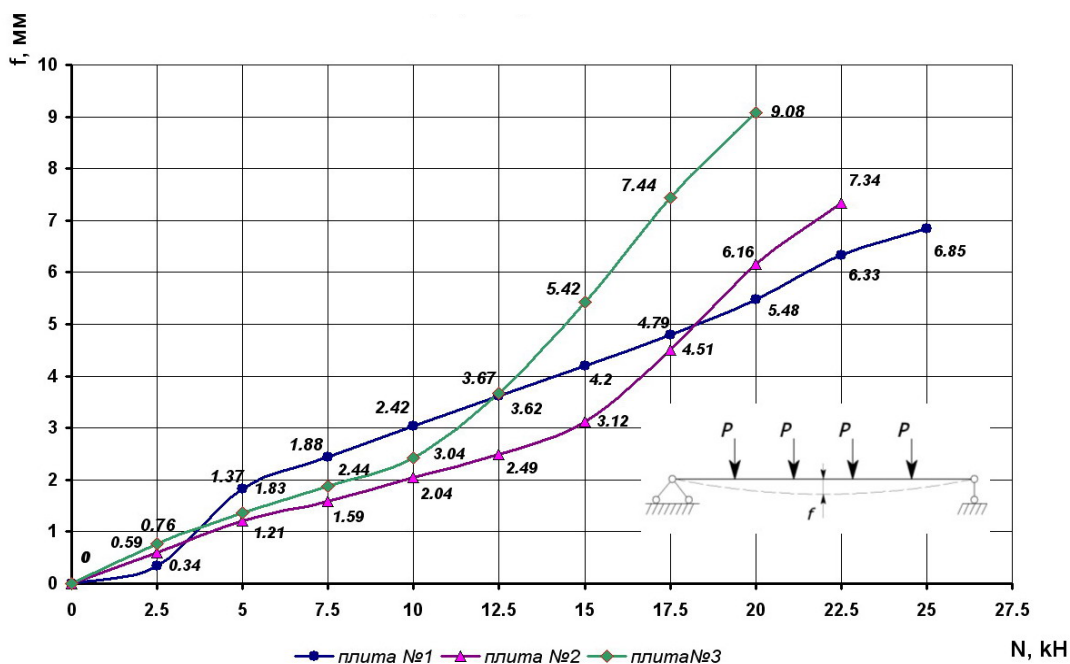


Рис. 1. Графики прогибов испытанных плит

Эксперимент показал зависимость коэффициента усиления плиты k от наличия адгезии по зоне контакта и от коэффициента армирования шпонок.

$$k = \frac{M_y}{M},$$

где M_y – момент, воспринимаемый усиленной плитой; M – то же, до усиления.

Коэффициенты усиления плит №1, №2 и №3 соответственно равны $k_1=10,87$, $k_2=9,78$, $k_3=8,7$. Таким образом, наибольший коэффициент усиления достигнут в плите №1 при наличии адгезии и коэффициенте армирования шпонок $\mu=0,012$.

Характерной особенностью разрушения усиленных плит является расслоение по зоне контакта плиты и нижнего усиливающего слоя, а также срез шпонок в приопорной зоне плиты с последующим разрушением плиты по нормальному сечению. Отсутствие адгезии между плитой и усиливающим слоем не влияет на характер разрушения усиленной плиты, однако снижает прочность плиты примерно на 11 %. Уменьшение количества арматуры в шпонке в два раза снижает прочность усиленной плиты на 20 %.

Анализ теоретических и экспериментальных исследований показал, что существенно увеличить прочность и надёжность в работе усиленной плиты можно дисперсным расположением шпонок в приопорной зоне. Этого можно достичь как уменьшением шага расстановки шпонок, так и увеличением количества арматуры в шпонках.

Для исследований работы сплошных железобетонных плит, усиленных двусторонним наращиванием сечения, разработана программа изучения несущей способности шпоночного соединения слоёв бетона. Оценка несущей способности и жёсткости железобетонного шпоночного соединения потребовалась для разработки численного и впоследствии инженерного расчёта конструкции усиления.

Программа исследований включала в себя испытание 5 серий образцов, по 3 образца в каждой. Образцы представляли собой трёхслойную конструкцию из мелкозернистого бетона класса В20 (рис. 2,а), соединённую бетонной неармированной или армированной шпонкой. Технология изготовления образцов состояла из следующих этапов. Сначала изготавливался средний (внутренний) слой образца толщиной 40 мм с отверстием диаметром 55 мм. Средний слой оклеивался с двух сторон полиэтиленовой плёнкой для исключения адгезии с наружными бетонными слоями. Затем бетонировались наружные слои толщиной 25 мм и шпонка. Таким образом, шпонка была монолитно соединена как с наружными, так и с внутренним слоем образца.

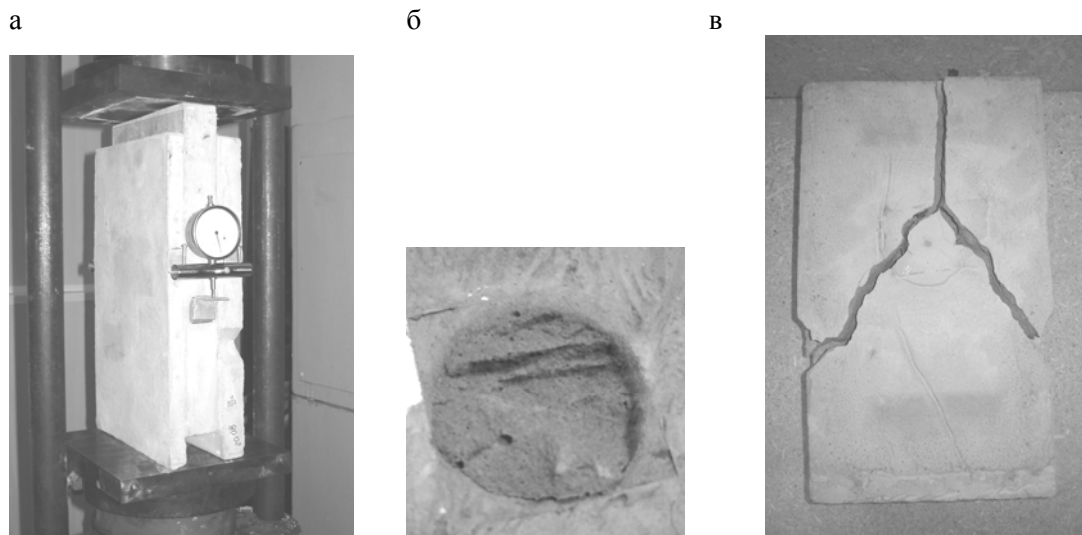


Рис.2. Фрагменты испытания образцов:

а – общий вид образца; б – состояние поверхности среза бетонной шпонки;
в – характер разрушения наружного слоя в зоне расположения шпонки с жёсткой арматурой

Первая серия образцов изготавливалась с неармированной шпонкой. В трёх сериях шпонки армированы проволочной арматурой класса В500 диаметром 4 мм. При этом процент армирования изменялся от 0,53 до 2,97 %. В 5-й серии шпонка армировалась жёсткой арматурой в виде трубы незамкнутого сечения толщиной 1 мм. Для лучшего

сцепления с бетоном труба изготавливалась с перфорацией по всей поверхности, исключая зоны предполагаемого среза шпонки (рис. 3).

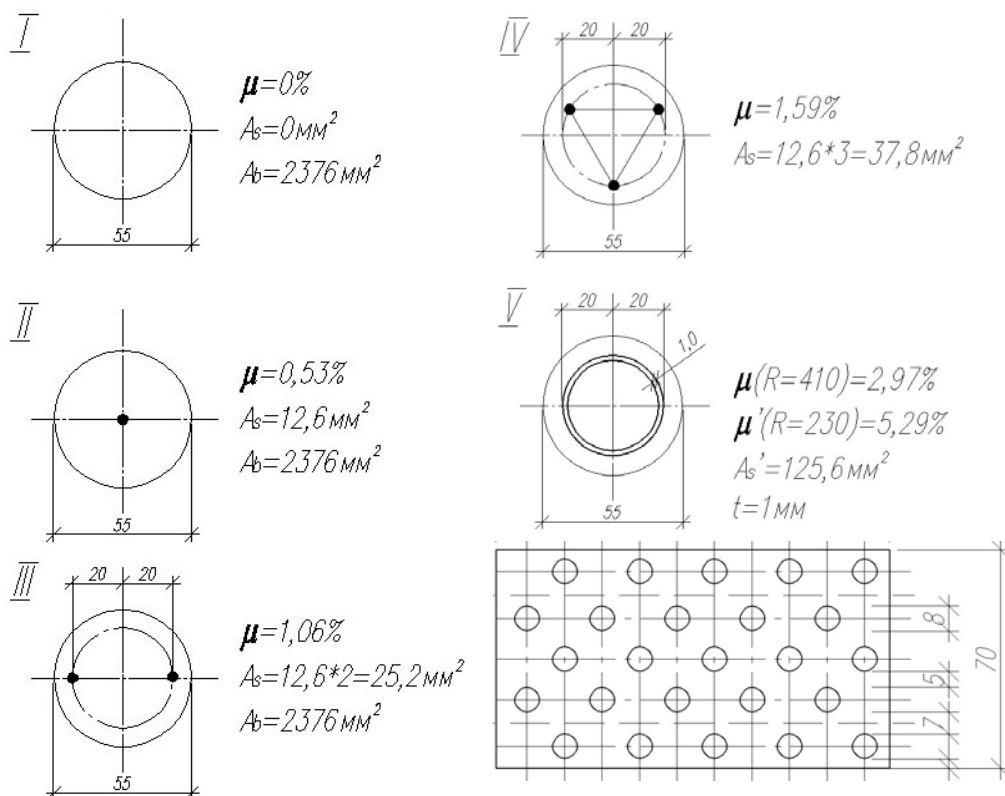


Рис. 3. Вид армирования шпонок. Развёртка трубы с перфорацией

Образцы испытывались на гидравлическом прессе. Во время испытания шпонка в образце находилась в двухсрезном напряженном состоянии.

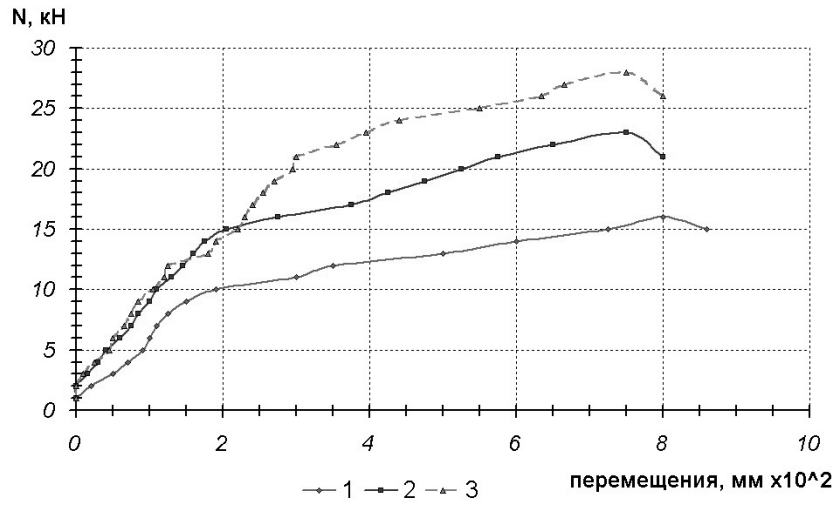
Для контролирования взаимного перемещения бетонных слоёв с торцов образца устанавливались индикаторы часового типа (см. рис. 2,а).

Параметры образцов и результаты испытаний

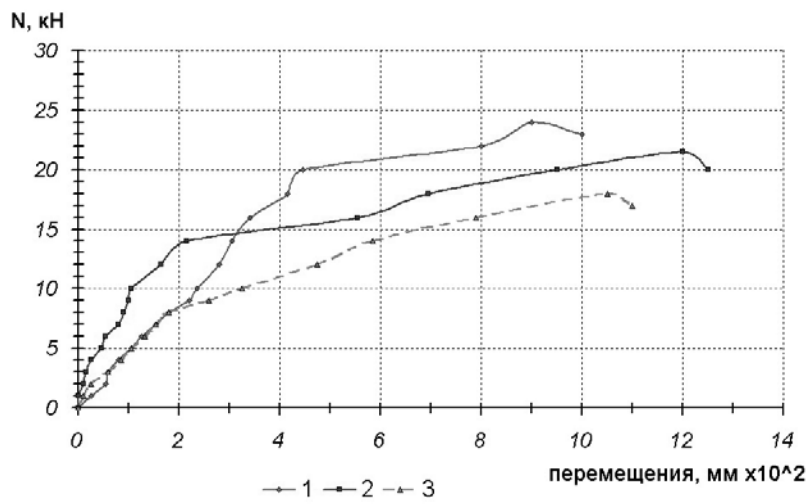
Номер серии	Диаметр шпонки	Армирование шпонки	Процент армирования	$N_{\text{разр}}(\text{ср}),$ кН	Средняя деформация сдвига, мм 10^2
I	55 мм	-	0	22,2	7,7
II	55 мм	$\varnothing 4$	0,53	20,8	10,8
III	55 мм	2 $\varnothing 4$	1,06	24,5	15,3
IV	55 мм	3 $\varnothing 4$	1,59	33,6	17,7
V	55 мм	жёсткая арматура	2,97	51,3	29,7

Деформации сдвига слоёв в зоне расположения шпонки показаны на рис.4, параметры образцов и результаты испытаний даны в таблице.

I серия



II серия



III серия

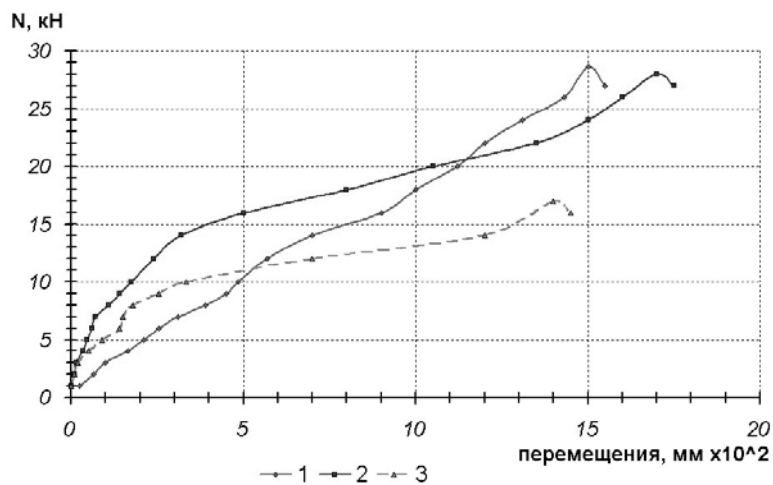
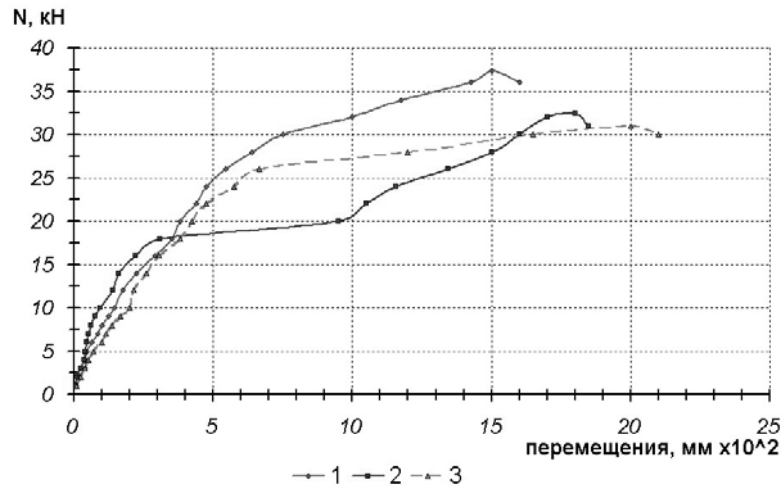


Рис. 4. Деформации сдвига слоёв в зоне расположения шпонки (начало)

IV серия



V серия

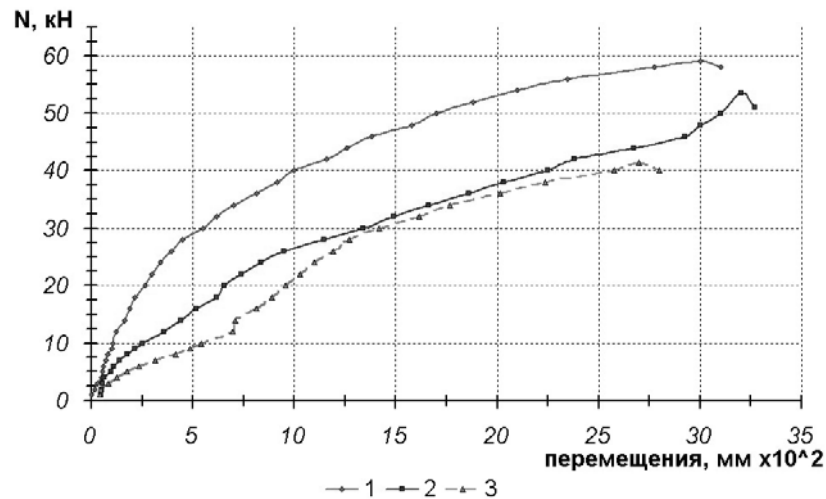


Рис. 4. Деформации сдвига слоёв в зоне расположения шпонки (окончание)

Во время испытания образцов были замечены следующие характерные особенности их разрушения. Образцы из первой серии исчерпали свою несущую способность при достаточно малых деформациях сдвига, разрушение произошло хрупко. На рис.2,в отчётливо видна ступенчатая форма среза шпонки. Образцы II, III и IV серий показали незначительное увеличение несущей способности по сравнению с образцами из 1-й серии. Однако деформации шпонки увеличились более чем в 2 раза. Образцы из 5-й серии, как и ожидалось, показали наибольшую несущую способность, при этом и деформации увеличились более чем в 4 раза, по сравнению с образцами из 1-й серии. Характерно, что образцы из последней серии разрушились по материалу наружного слоя (рис. 2,в).

Проведённые эксперименты показали достаточную надёжность шпоночного соединения. Зависимость несущей способности соединения и его деформативности от процента армирования практически линейная. Армирование шпонки жёсткой арматурой значительно повышает её несущую способность и этот эффект целесообразно использовать при усилении плит методом наращивания/подрачивания сечения.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Залялов Наиль Бурганович,

кандидат технических наук,
доцент кафедры ИСКМ.

Адрес: 440043, г. Пенза, ул. Богданова, 92-7

Тел.: (8412) 42-05-03, 35-38-43

Сотникова Антонина Александровна,

ассистент кафедры ИСКМ.

Адрес: 440048, г. Пенза, ул. Беляева, 18-8

Тел.: (8412) 92-95-18

E-mail: sot@pguas.ru

Кошев Александр Николаевич,

доктор химических наук, профессор,
зав.кафедрой ИСКМ.

Адрес: г. Пенза, 440064, г. Пенза,

пр. Строителей, 168-99

Тел.: (8412) 49-61-52, 41-14-85.

E-mail: koshev@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Zalyalov Nail Burganovich,

Candidate of Science,

Associate Professor of the department ISKM.

Address: 440043, Penza, 92, Bogdanova St., ap.7.

Tel.: (8412) 42-05-03, 35-38-43

Sotnikova Antonina Alexandrovna,

Assistant of the department ISKM.

Address: 440048, Penza, 18, Belyaeva St., ap.8.

Tel.: (8412) 92-95-18.

E-mail: sot@pguas.ru

Koshev Alexander Nicolaevich,

Doctor of Science in Chemistry, Professor,
Head of the department ISKM.

Address: Penza, 440064, Penza, 168,

Prospect Stroiteley, ap.99.

Tel.: (8412) 49-61-52, 41-14-85.

E-mail: koshev@pguas.ru

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ 3D-МОДЕЛИ КОРПУСОВ ПГУАС В СРЕДЕ AUTOCAD С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦВЕТОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ОБЪЕКТОВ

Н.Б. Залялов, А.А. Сотникова, А.Н. Кошев

Предлагается методика построения твердотельных трехмерных моделей строительных объектов (корпусов) в среде AUTOCAD для решения всевозможных задач по размещению сетей, оборудования и задач МЧС, рассматриваются вопросы цветовой дифференциации объектов и их связь с внешними базами данных.

Ключевые слова: AUTOCAD, 3D-модель, внешняя база данных, цветовая дифференциация.

DEVELOPMENT OF INFORMATION 3D-MODEL OF PSUAC BUILDINGS IN AUTOCAD MEDIUM USING COLOR OBJECTS DIFFERENTIATION

N.B. Zalyalov, A.A. Sotnikova, A.N. Koshev

The article discusses a method of constructing three-dimensional solid models of construction projects (buildings) in AUTOCAD medium for solving various problems on nets and equipment distribution and tasks of the Ministry for Emergency Situations (MES), the issue of color differentiation of objects and their relation to external databases.

Keywords: AUTOCAD, 3D-model, external database, color differentiation.

В настоящее время стало широко внедряться компьютерное моделирование трехмерных объектов в области строительства. Построение 3D-модели здания позволяет решить множество задач. Наряду с получением подробнейшего электронного трехмерного плана здания с реалистичными размерами и реалистичными фасадами, что является ценным само по себе, можно создать и отобразить модели инженерных сетей, компьютерных сетей, и т.д., легко планировать их реализацию и модернизацию по электронному плану здания.

Подключение внешних баз данных (БД) к электронной модели позволяет без особого труда получить полную спецификацию зданий, сетей и любых других объектов, отобразить временной учет ремонтов, замен и т.д. Кроме того, 3D-модель позво-

ляет ввести цветовую дифференциацию объектов, которая может давать дополнительную информацию, например, выделение на трехмерном плане здания опасного оборудования (пожароопасного, взрывоопасного и т.д.) красным или другим цветом. Далее подробнее рассматриваются вопросы цветовой дифференциации объектов и механизм их программного выбора с приведенным примером.

Создание полновесной, реальной 3D-модели представляет собой сложную задачу. Но однажды созданная модель в дальнейшем может постоянно дополняться и редактироваться, что в значительной мере окупит первоначальные вложения.

Для построения 3D-модели корпусов был выбран AutoCAD, который позволяет получить точные 3D-модели, содержит средства получения разрезов и сечений, а также обеспечивает достаточно реалистичную визуализацию.

Для получения 3D-модели корпусов ПГУАС вся работа разбивалась на этапы.

Основными из них являлись:

1. Построение двухмерных электронных планов каждого этажа.
2. Построение трехмерных моделей каждого этажа.
3. Объединение поэтажных моделей в общую 3D-модель корпуса.

Рассмотрим кратко содержание этапов.

На первом этапе сканируются существующие чертежи этажей корпуса, если они есть. При отсутствии или при плохом их качестве проводились некоторые натуральные измерения, дополняющие чертежи.

Поверх отсканированных чертежей средствами AutoCAD создавались векторные планы этажей. При этом для повторяемых фрагментов (окна, двери, лестницы и т.д.) широко использовался инструмент AutoCAD- BLOCK (блок).

Для примера приведем план первого этажа второго корпуса ПГУАС (рис.1).

На втором этапе используем двухмерные планы этажей корпуса. С помощью команды REGION (область) преобразуем отрисованные на чертежах замкнутые элементы в область. Применяем к ним команду EXTRUDE (выдави) для получения твердотельных трехмерных моделей составляющих этажа.

Для получения сложной 3D-модели этажа используются логические операции AutoCAD – объединение, вычитание и пересечение. В результате получаем 3D-модели этажей. На рис.2 представлена 3D-модель первого этажа с главной лестницей.

На третьем этапе совмещаем модели этажей, создаем межэтажные перекрытия, крышу, лестницы, моделируем фасады здания с рельефными выступами и объединяем все составляющие в единую модель. Полученная 3D-модель (твердотельная) второго корпуса ПГУАС представлена на рис.3.

На разработанной 3D-модели можно легко получить требуемые разрезы и сечения. Кроме того, отметим, что модели корпусов создавались по отдельным слоям, что позволяет легко выключать тот или иной слой, рассматривать внутреннее содержание корпусов.

3D-модель имеет реальные размеры, легко масштабируется. На модели в дальнейшем будут наноситься инженерные сети и другие объекты оборудования, также будут решаться задачи, поставленные МЧС (например, расположение противопожарного оборудования, пути эвакуации, аварийные выходы и др.).

При создании 3D-моделей нами использовалась цветовая дифференциация объектов.

Отметим, что во многих сферах технического проектирования, в том числе и в строительстве, возникает задача выбора объектов по схематическому их представлению в виде номограмм, графиков, структурных схем, плоских чертежей, 3-мерных моделей и т. п.

Разделение объектов по цвету и связывание с цветом необходимой информации, хранящейся во внешних БД, во многом делает процесс проектирования или работу другой информационной системы, где требуется связь между схемой и данными объектов схемы, наглядной и очень удобной. В среде AutoCAD имеются неограниченная гамма цветов и множество инструментов, позволяющих построить практически любые схемы и модели.

Цветовая дифференциация объектов в общей схеме представления может наглядно выражать, например, предназначение объектов, материалы, из которых они сделаны, однотипные объекты и т.п. Можно заложить множество других самых важных характеристик для выбора объектов. Остальные характеристики объектов, являющиеся дополнительными описаниями и отображаемые в общей схеме объектов, разрешено хранить во внешних БД или файлах, откуда они могут быть извлечены по номеру кода цвета.

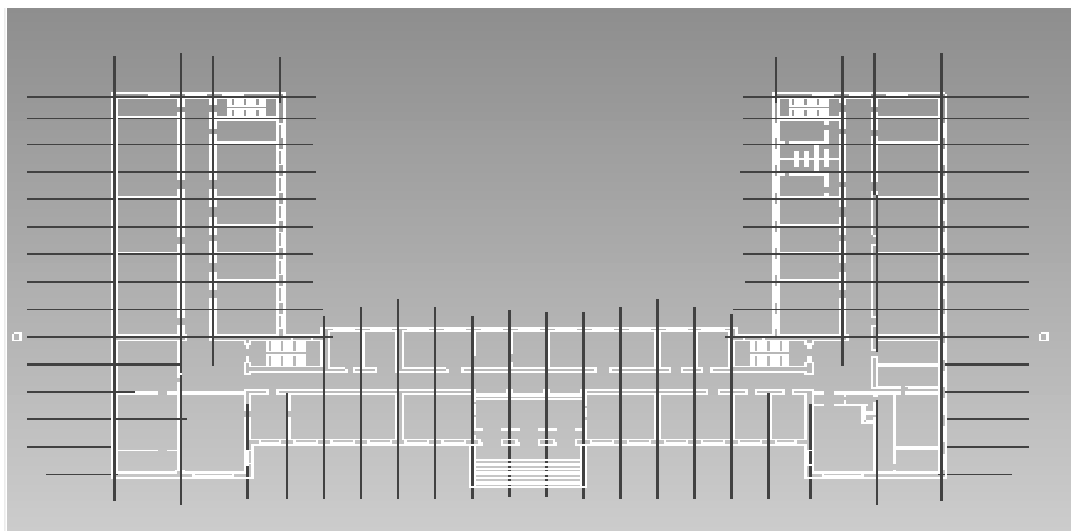


Рис 1. План первого этажа

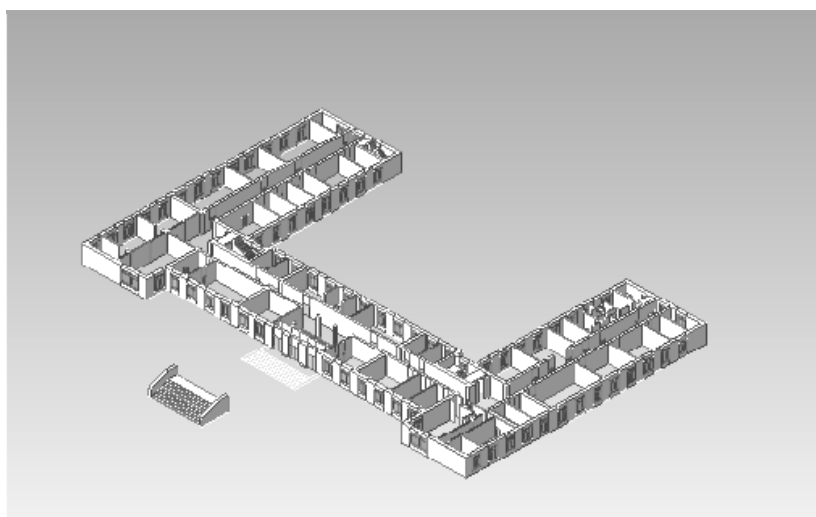


Рис 2. Модель первого этажа

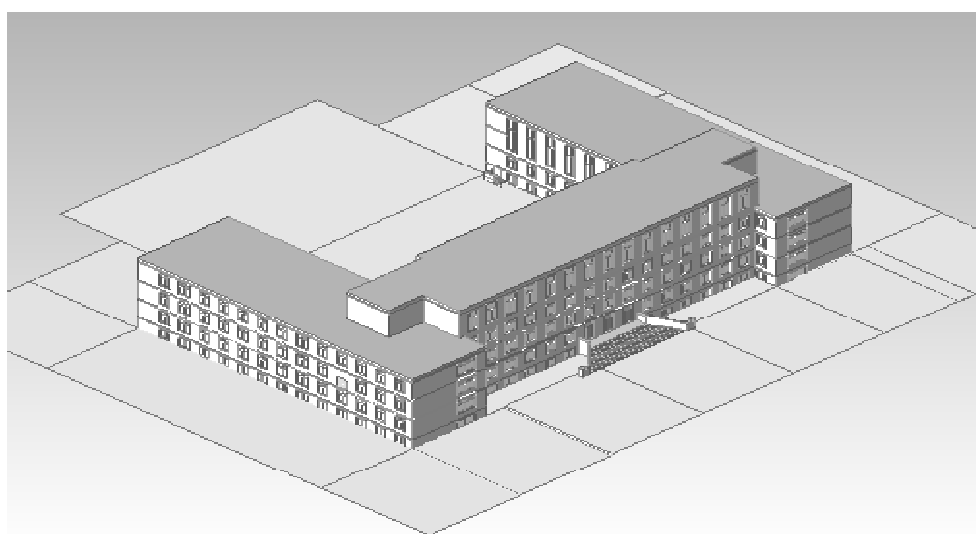


Рис 3. 3D-модель второго корпуса ПГУАС (юго-западная изометрия)

Рассмотрим механизм программного выбора объектов по цвету в среде AutoCAD. Как известно, вся информация об объектах чертежа хранится в графической базе данных (ГБД) в виде списка, состоящего из точечных пар и координатных подписков, первым элементом которых является DXF-код.

Конкретный код цвета объекта содержится в точечной паре с DXF кодом, равным 62. Второе число в этой паре показывает цвет объекта. Например, в точечной паре (62 . 1), 1 означает цвет – «красный». Это число можно извлечь с помощью функций AutoLISP: `assoc` и `cdr` из описания выбранного объекта.

Выбор объекта удобнее всего производить с помощью мышки в окне открытого чертежа AutoCAD, используя функцию AutoLISP `entsel`.

Приведем пример программы, реализующей указанный механизм выбора с использованием в качестве внешней БД файла данных с последовательным доступом. Сделаем предварительные замечания. Файл данных должен быть сформирован заранее. В нем каждый объект будет представлен, например, двумя записями, в первой записывается цветовой код объекта, во второй, следующей строке, – необходимые внешние данные объекта. Изобразим три объекта на чертеже: круг, отрезок, прямоугольник. Придадим им последовательно цвета со следующими номерами: красный – 1, желтый – 2, зеленый – 3.

В качестве внешней информации в файл записываем соответственно: «круг», «отрезок», «прямоугольник».

Текст программы:

```
(setq A (entsel)); имя объекта и координаты точки выбора.
(setq B (car A)); имя объекта-16-й код. (setq C (entget B)); список данных объекта.
(setq D (assoc 62 C)); выделение точечной пары.
(setq E (cdr D)); запись в E номера цвета.
; запись в файл данных.
(setq f (open "C:\\Мои документы\\bd.txt" «W»))
(write-line «1» f)
(write-line «круг» f)
(write-line «2» f)
(write-line «отрезок» f)
(write-line «3» f)
(write-line «прямоугольник» f)
(close f)
; чтение данных из файла
(setq f (open "C:\\Мои документы\\bd.txt" «R»))
(setq KR1(read-line f)); считывание номера цвета круга
(setq KRt (read-line f)); считывание данных объекта
(setq OT1(read-line f))
(setq OTt(read-line f))
(setq PR1(read-line f))
(setq PRt (read-line f))
; преобразование строковых данных в числовые
(setq KR (atoi OT1))
(setq OT (atoi PR1))
(setq PR (atoi KR1))
; получение информации о выбранном объекте в переменной
; itog с помощью функции cond
(setq itog (cond(= E KR) KRt)((= E OT) OTt)((= E PR) PRt)
«Объект не входит в данную гамму цветов»))
```

В программе внешняя информация о выбранном объекте записывается в переменную `itog` с помощью функции выбора `cond`. При невозможности идентифицировать объект выводится сообщение «объект не входит в данную гамму цветов». При наложении цветов объекта задача также успешно решается с помощью системной переменной `VIEWMODE` и с помощью команды `VIEWORDER`. Предложенный механизм выбора будет полезен для решения множества задач цветовой идентификации объектов.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Гучкин Игорь Сергеевич,

кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции».
Адрес: 440000, г. Пенза, ул. Московская, д. 82,
кв. 91.

Тел.: 8 (841) 52-43-95

Панков Александр Викторович,

аспирант кафедры «Строительные
конструкции».

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Беляева, д. 14,
кв. 433.

Тел.: 8-927-367-24-56.

E-mail: Pankupols@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Guchkin Igor Sergeevich,

Candidate of Science, Professor
of the department «Building structures».
Address: 440000, Penza, 82, Moskovckay St.,
ap.91

Tel: 8 (841) 52-43-95

Pankov Aleksandr Viktorovich,

Postgraduate of the department «Building
structures»

Address: 440028, Penza, 14, Beliaeva St.,
ap.433

Tel.: 8-927-367-24-56.

E-mail: Pankupols@mail.ru

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БАЛКИ, УСИЛЕННЫЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ИЗ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.С. Гучкин, А.В. Панков

Приводятся результаты экспериментальных исследований железобетонных балок, усиленных комбинированной системой с различным расстоянием между подвесками и положением промежуточных опор.

Ключевые слова: железобетонная балка, усиление, комбинированная система, экспериментальные исследования, промежуточная опора, базовый элемент.

REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED BY COMBINED SYSTEM OF STEEL ELEMENTS

I.S. Guchkin, A.V. Pankov

The article presents the results of experimental research of reinforced beams strengthened by combined system with different distance between hangers and location of intermediate supports.

Keywords: improved reinforced concrete beam, enhancement (reinforcing), combined system, action research, intermediate support, locating element (reference member).

Реконструкции действующих предприятий, в результате которой повышается эффективность капитальных вложений и ускоряется ввод новых мощностей, в настоящее время придаётся большое значение. Поскольку реконструкция касается прежде всего старых цехов и заводов, то часто приходится усиливать существующие конструкции, изменяя их расчётную схему и напряжённое состояние. Железобетонные балки, как правило, являются сильно нагруженными элементами перекрытий и покрытий, поэтому они чаще других несущих конструкций подвергаются ремонту и усилению.

Существуют различные способы усиления железобетонных балок, среди которых наиболее часто используются дополнительные жесткие и упругие опоры, предварительно-напряжённые горизонтальные и шпренгельные затяжки, подваривание дополнительных рабочих стержней, устройство железобетонных обойм или полуобойм, разгрузка конструкции и пр.

Из всех вышеперечисленных способов наибольшего внимания, на наш взгляд, заслуживают способы усиления балок промежуточной упругой опорой и предвари-

тельно напряжённой затяжкой, которые позволяют увеличить несущую способность балки в широком диапазоне действующих нагрузок.

В статье¹ рассматривался разработанный на кафедре строительных конструкций Пензенского ГУАС метод усиления железобетонных стропильных балок комбинированной системой, включающей в себя элементы горизонтальной затяжки и упругой опоры. Этот способ позволяет значительно повысить несущую способность балки по нормальному сечению при различном коэффициенте армирования.

Схематическое изображение балки, усиленной комбинированной системой, представлено на рис. 1.

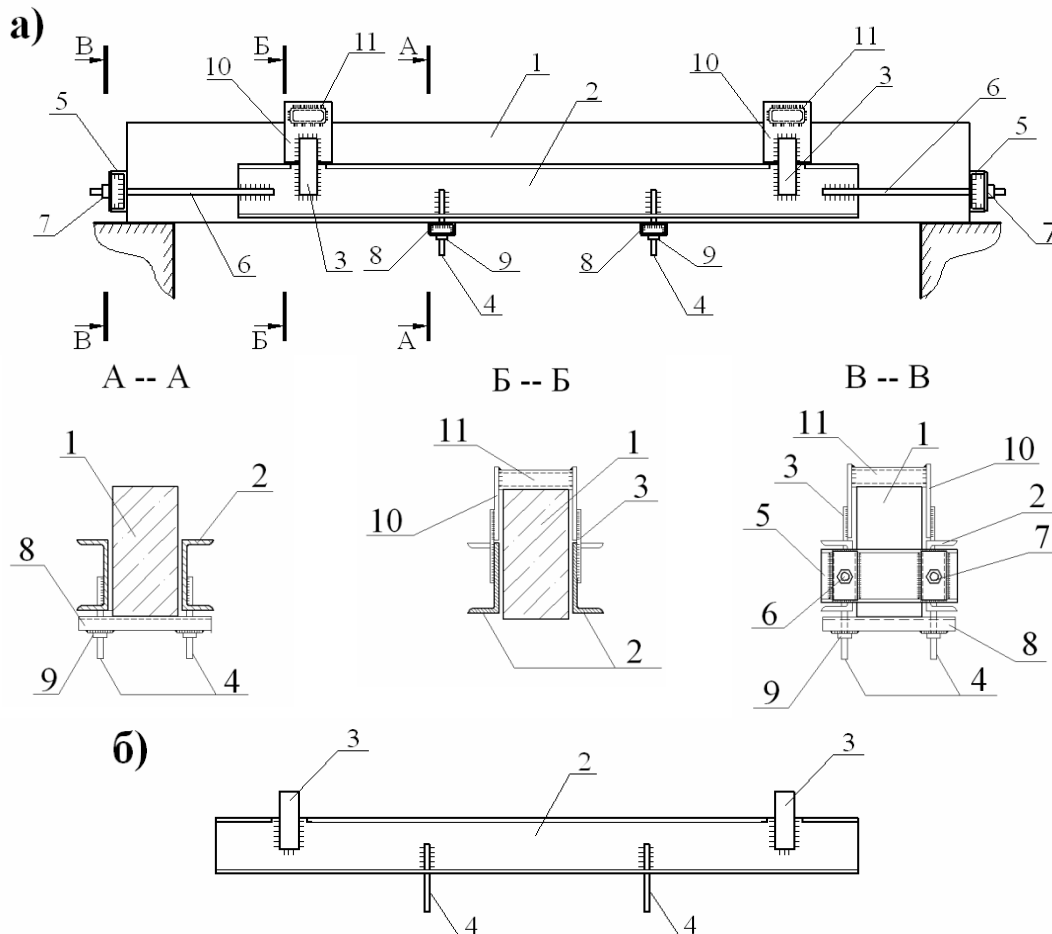


Рис. 1. Схема усиления балки:

- а – схема балки, усиленной комбинированной системой; б – базовый элемент;
 1 – усиливаемая балка; 2 – стальной профиль; 3 – пластина; 4, 6 – стержни с нарезкой;
 5 – торцевая балка; 7, 9 – гайки; 8 – распорки; 10, 11 – элементы подвески

Усиление производится в такой последовательности. Изготавливаются два базовых элемента, состоящие из металлического профиля 2, стержней 4 с нарезкой, приваренные вертикально к стенке стальных профилей и расположенные по концам соединительных пластин 3. Базовые элементы устанавливают в проектное положение симметрично по бокам усиливаемой балки 1 с помощью П-образных хомутов, состоящих из соединённых сваркой элементов 10, 11 подвески, к которым крепят пластины 3. К концам профилей приваривают стержни с нарезкой 6, на которые устанавливают торцевые балки 5, в которых предусмотрены отверстия. Затягиванием гаек 7 создают предварительное напряжение в базовом элементе. Снизу усиливаемой

¹ Гучкин И.С., Черячукин В.В., Панков А.В. Проектирование усиления железобетонных стропильных балок комбинированной системой // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. Вып. №17. ВолгГАСУ. С. 9–13.

балки 1 на стержни 4 устанавливают распорки 8, представляющие собой металлические балки с отверстиями. Затягиванием гаек 9 конструкцию усиления включают в работу.

В лабораторных условиях кафедры строительных конструкций Пензенского ГУАС проведены экспериментальные исследования несущей способности и характера деформирования железобетонных балок, усиленных комбинированной системой.

Цель эксперимента – исследование эффективности усиления различных вариантов комбинированной системы.

Программа экспериментальных исследований состояла из двух последовательных этапов.

На первом этапе исследования сравнивался характер деформирования балок, усиленных различными вариантами комбинированной системы при последовательном нагружении ступенями.

На втором этапе определялись несущая способность и характер разрушения образцов, усиленных комбинированной системой. При этом за критерий разрушения принимались один или несколько следующих показателей: разрушение бетона сжатой зоны, наступление предела текучести в растянутой арматуре или её разрыв, разрушение по наклонной трещине, непрерывное нарастание деформаций при неизменной нагрузке.

Эксперимент осуществлялся на железобетонных балках сечением 120×220 мм (рис. 2), усиленных комбинированной системой, конструкция которой представлена на рис. 3.

Характеристики экспериментальных балок

Материал балки: бетон тяжёлый, подвергнутый тепловой обработке класса В15; нормативное сопротивление бетона сжатию $R_{bn}=11$ МПа; нормативное сопротивление бетона при осевом растяжении $R_{bt}=1,15$ МПа (по СНиП 2.03.01–84*, табл. 12);

начальный модуль упругости бетона $E_b=20500$ МПа (по СНиП 2.03.01–84*);

Продольная растянутая арматура класса А-III;

нормативное сопротивление растяжению $R_{sn}=390$ МПа;

модуль упругости $E_s=200000$ МПа;

продольная сжатая арматура класса Вр-1 (Ø5);

нормативное сопротивление растяжению $R_{sn}=395$ МПа;

модуль упругости $E_s=170000$ МПа;

поперечная арматура класса Вр-1 (Ø4).

нормативное сопротивление растяжению $R_{sn}=405$ МПа;

нормативное сопротивление растяжению поперечных хомутов $R_{sw}=265$ МПа;

модуль упругости $E_s=170000$ МПа.

Принятая конструкция комбинированной системы позволяла изменять следующие параметры:

- количество промежуточных опор и расстояние между ними;
- расстояние между подвесками.

Балки испытывались в силовой установке рамного типа (рис. 4). Нагрузка создавалась гидравлическим домкратом грузоподъемностью 25 тс и передавалась на балку в виде двух сосредоточенных сил посредством распределительной траверсы.

В процессе испытаний нагрузка на балку прикладывалась поэтапно ступенями (долями), каждая из которых не превышала 10–15 % от контрольной нагрузки по прочности.

– для Б1 $\Delta P_1=250$ кгс;

– для Б2 $\Delta P_2=500$ кгс.

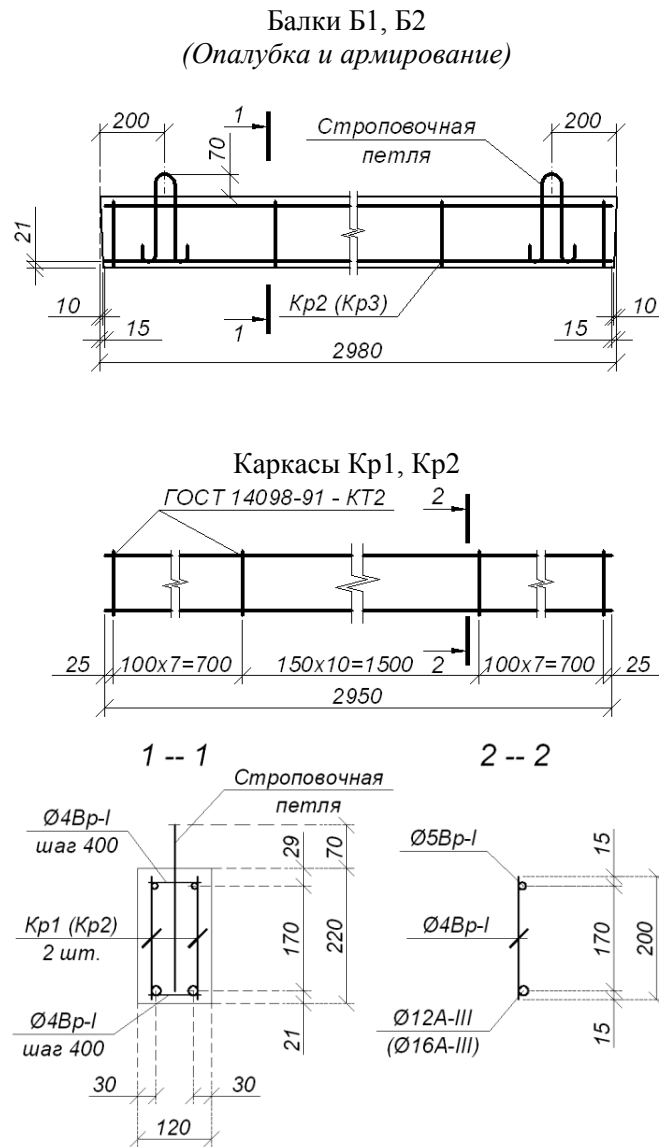


Рис. 2. Опалубка и схема армирования испытываемых балок

П р и м е ч а н и е . Обозначения в скобках даны для каркаса Кр2 и балки Б2

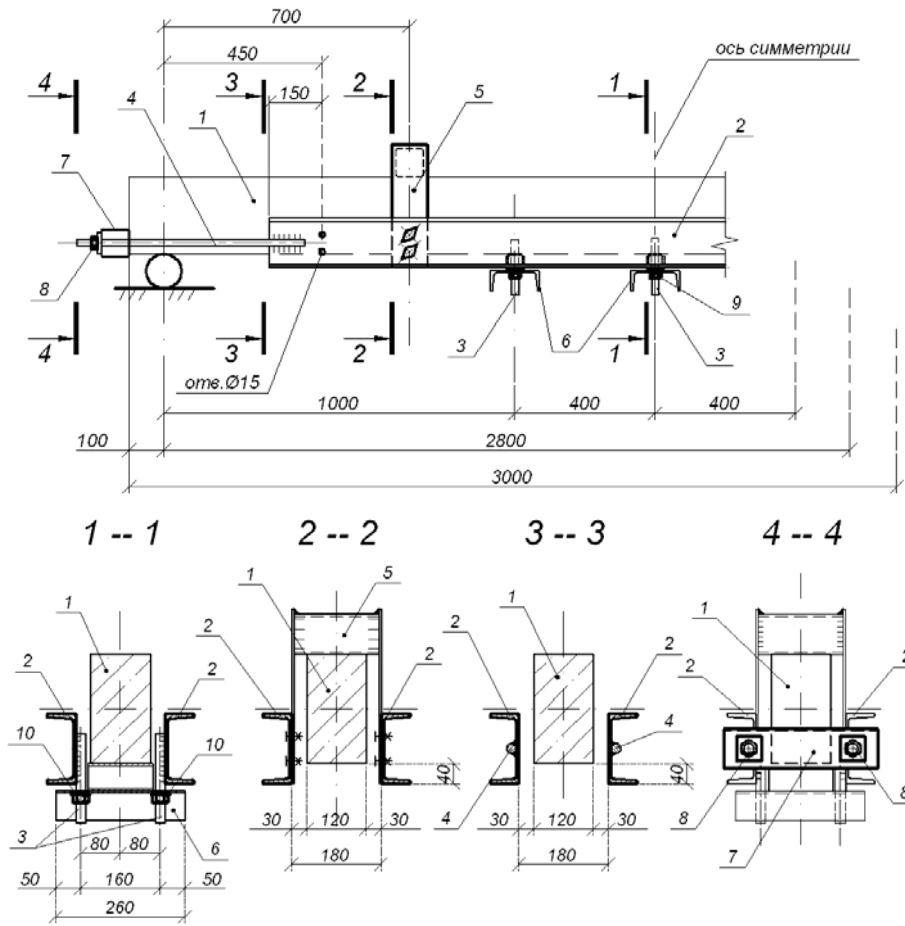


Рис. 3. Конструкция комбинированной системы:

- 1 – усиливаемая балка; 2 – швеллер №14; 3, 4 – стержни с нарезкой М20; 5 – элемент подвески; 6 – промежуточные опоры (металлические балки); 7 – торцевая балка (труба 80×80×3,5); 8, 9 – гайки

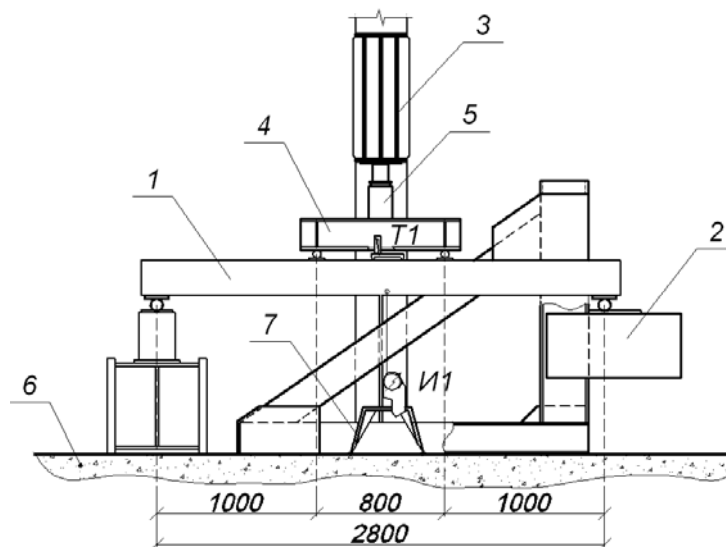


Рис. 4. Схема силовой установки и расстановка приборов:

- 1 – испытываемая балка; 2 – опорная часть; 3 – металлическая рама, шарнирно закрепленная в основании; 4 – распределительная траверса из I 20 Ш1; 5 – гидравлический домкрат грузоподъемностью 25 тс; 6 – силовой пол; 7 – стул для крепления прогибомера И1; Т1 – тензометр с базой 100 мм; И1 – индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм

После приложения каждой ступени делалась выдержка в течение 10 мин. При достижении контрольной нагрузки (P_k) делалась выдержка 30 мин. Отсчеты по приборам снимались на каждой ступени дважды: до и после выдержки под нагрузкой.

Результаты экспериментальных исследований приводятся на рис. 5–7.

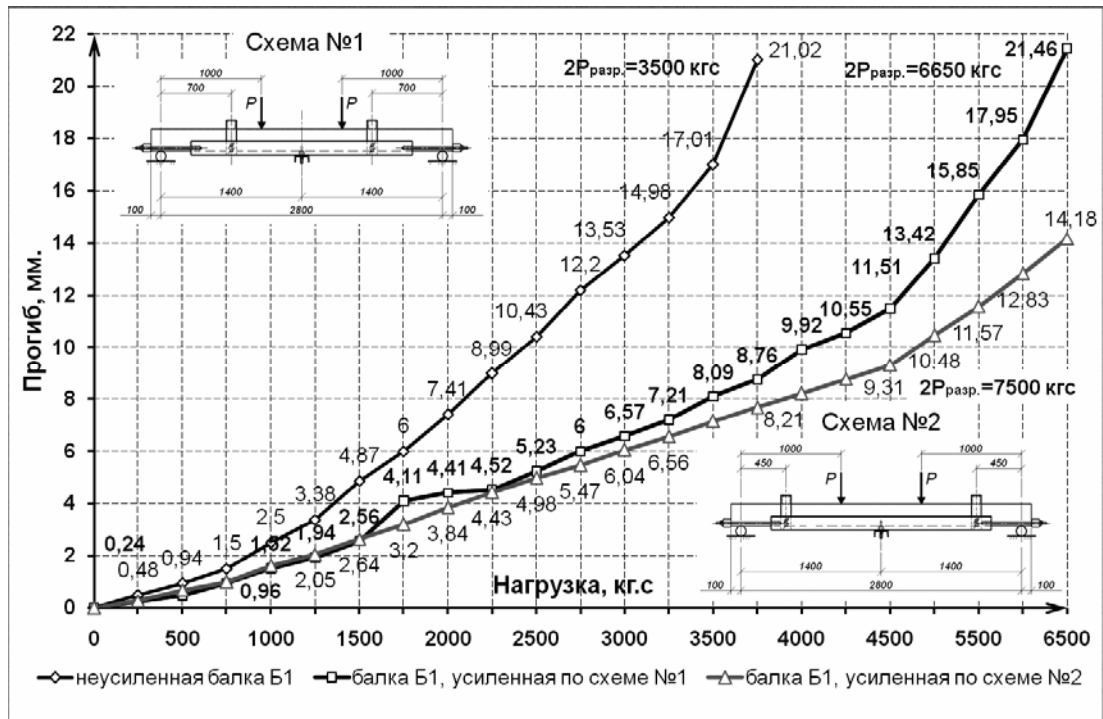


Рис. 5. Зависимости прогибов балки Б1 от нагрузки при усилении комбинированной системой с одной промежуточной опорой

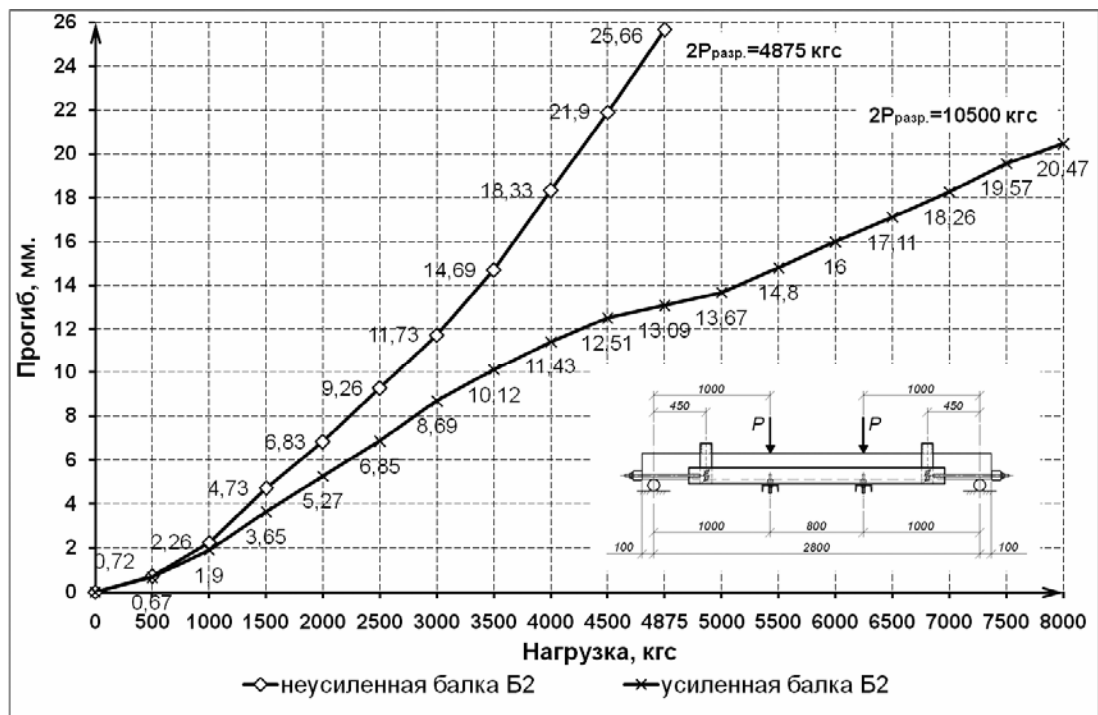


Рис. 6. Зависимости прогибов балки Б2 от нагрузки при усилении комбинированной системой с двумя промежуточными опорами

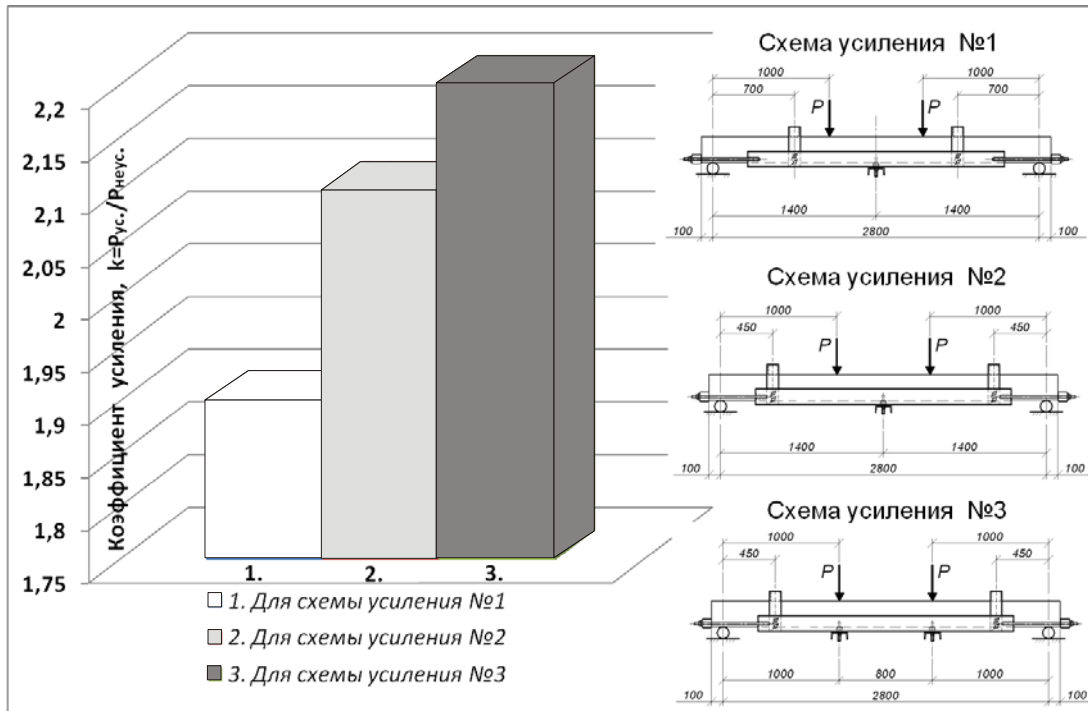


Рис. 7. Зависимость коэффициента усиления от конструкции комбинированной системы

Из рис. 5–7 видно, что при усилении балки Б1 комбинированной системой с одной промежуточной опорой прогиб снижается при увеличении расстояния между подвесками. Так, при нагрузке $2P=6500$ кгс прогиб балки при схеме усиления №2 (см. рис. 5) уменьшился на 33,9 % по сравнению с вариантом усиления по схеме №1.

При усилении балки Б2 комбинированной системой с двумя промежуточными опорами (см. рис. 6) прогиб при нагрузке $2P = 4875$ кгс уменьшился на 49 % по сравнению с неусиленной балкой.

Наибольший коэффициент усиления ($k=2,2$) имеет балка, усиленная комбинированной системой с двумя промежуточными опорами (см. рис. 7). Наименьший коэффициент усиления ($k=1,9$) показала балка, усиленная комбинированной системой с одной промежуточной опорой с расстоянием между подвесками 1,4 м.

Экспериментальные исследования показали, что комбинированная система позволяет значительно увеличить несущую способность и жёсткость балок при различном коэффициенте армирования. При этом эффективность усиления существенно зависит от параметров комбинированной системы: положения подвесок, количества и расположения промежуточных опор.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 697.941:628.52/.53:504.7

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 440043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1, тел./факс: +7(843) 510-46-01.

E-mail: info@ksaba.ru

Зиганшин Малик Гарифович,

кандидат технических наук,
доцент, и.о. профессора кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция».

E-mail: mjihan@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Construction

Russia, 440043, Kazan, 1, Zeljonaya St., tel./fax: +7(843) 510-46-01.

E-mail: info@ksaba.ru

Ziganshin Malik Garifovich,

Candidate of Science, Associate Professor,
Acting Professor of the department «Heating,
Gas Supply and Ventilation».

E-mail: mjihan@mail.ru

РАСЧЕТЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА ИНВЕСТИЦИЙ В ТЕПЛОИСТОЧНИКИ С ВЫБРОСОМ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

М.Г. Зиганшин

Представлена методика выбора теплоисточников и систем теплоснабжения с учетом рисков инвестиций, связанных с энергоэкономичностью, ориентированная на минимизацию топливных затрат и уменьшение выбросов CO₂.

Ключевые слова: диоксид углерода, выброс, теплоисточники, показатели эффективности, инвестиции, риски.

CALCULATIONS OF RISK INDICATORS INVESTINGS IN GREENHOUSE GAS EMITING HEAT SOURCES

M.G. Ziganshin

The heat sources and heat supply systems choice technique taking into account risks of investments connected with power profitability, focused on minimization of fuel expenses and reduction of CO₂ emissions is presented.

Keywords: carbon dioxide, emission, heat sources, efficiency indicators, investments, risks.

В связи с необходимостью выполнения требований Рамочной конвенции ООН по изменению климата (UN FCCC) предстоит произвести всесторонний учет выброса парниковых газов. Это непосредственно касается централизованных и децентрализованных теплоисточников, использующих природный газ в качестве топлива. Выполнение обязательств UN FCCC («Киотского протокола») предусматривает замену существующего оборудования с целью снижения выброса парниковых газов. Решение проблем, связанных с глобальным изменением климата вследствие выброса диоксида углерода CO₂, возможно только на основе использования наиболее совершенных технологий выработки и потребления теплоты, техники эксплуатации газоиспользующих теплоисточников, включая методы очистной обработки дымовых газов. При выборе требуемых технологий и методов необходимы комплексные ориентиры (критерии), дающие достоверную оценку санитарно-гигиенической, экологической и энер-

гетической эффективности систем с учетом финансовой стороны вопроса. Очевидно, невозможно рассчитывать на стабильное (не одноразовое) финансирование таких объектов без обеспечения инвесторов объективной и полной информацией о предстоящих рисках и ожиданиях. Пока в России при анализе проектных рисков затраты и доходы, связанные с практической реализацией положений UN FCCC, недостаточно принимаются во внимание. Между тем приближение нормативов выбросов к евростандартам может привести к ограничениям производства или к дополнительным инвестициям, а в условиях нестабильного рынка – и к серьезным финансовым проблемам в отрасли, а также повлиять на эффективность и конкурентоспособность предприятий теплоснабжения.

Для успешного использования на практике показатели должны обеспечивать максимально простую и прозрачную информацию. ПГУАС совместно с Казанскими архитектурно-строительным и медицинским университетами [1, 2] в 2006–2009 годах проводили разработку комплексного показателя с целью обеспечения объективного сопоставления источников выброса при наличии парниковых газов. Метод оценки представлен применительно к наиболее распространенному среди парниковых газов диоксиду углерода CO_2 и предполагает сравнительные расчеты энергетических затрат на гипотетическое снижение концентрации CO_2 в исследуемых выбросах и в эталонной газовой смеси до среднего фоновое содержания в атмосфере. Эталонами для сравнения служат продукты сгорания газового топлива (метана), так как их характеристики хорошо известны. Это обеспечивает однозначность определения теплоотвода от исследуемого выброса и сравниваемого объекта и оценки источника выбросов в целом. Использование продуктов сгорания газа в качестве объекта сравнения диктуется и тем, что производство энергии на настоящее время основано преимущественно на сжигании топлива. В окончательном виде показатель может быть представлен как

$$\eta_{\text{COMP}} = \frac{EER \cdot V \cdot \text{ПДК}_{\text{MP}}}{C_e W \tau_0} \left(1 - \frac{C_e}{C_b}\right) = \left[1 - \frac{\eta Q_l (E_{\text{aH}_2\text{O}}^{\text{dn}} + E_{\text{aCO}_2}^{\text{dn}})}{39057,4 E_a}\right] \left(\frac{1}{C_e} - \frac{1}{C_b}\right) \frac{\text{ПДК}_{\text{MP}}}{W \tau_0} \times (1) \\ \times 100 \pi H^2 \left\{ H + D \left[w_0^r (1,239 - 0,147 u_m^r) - 0,514 \right] (\rho_0 - \rho_{ar}) / (\rho - \rho_{ar}) \right\},$$

где w_0^r – скорость истечения дымовых газов, м/с; u_m^r – скорость ветра, м/с; D, H – диаметр устья и высота трубы, м; ρ_0, ρ – плотность дымовых газов при температуре, принятой в численных исследованиях $T_0 = 423 \text{ K}$ ($\rho_0 = 0,845 \text{ кг/м}^3$) и при расчетной температуре T ; ρ_{ar} – плотность воздуха в расчетных условиях при температуре атмосферного воздуха T_{ar} , К; C_b, C_e – начальная и конечная концентрации загрязнителя, мг/м³; Q_l – низшая теплота сгорания топлива, кДж/м³; η – коэффициент использования топлива; E_a – суммарный теплоотвод при гипотетическом охлаждении дымовых газов до температуры конденсации CO_2 , кВт; $E_{\text{aH}_2\text{O}}^{\text{dn}}, E_{\text{aCO}_2}^{\text{dn}}$ – теплота конденсации водяных паров и диоксида углерода, кВт; W – интенсивность выброса, м³/с; τ_0 – период осреднения концентраций загрязнителей, принимаемый равным времени отбора проб при контроле максимально разовой предельно допустимой концентрации загрязнителя в воздухе населенных мест ПДК_{MP} (1200–1800 с).

В выражении (1) оценочный показатель энергоэкологичности EER определяется как

$$EER = 1 - E_a/E_{et}, (2)$$

где E_a, E_{et} – энергозатраты на теплоотвод при конденсации CO_2 из выбросов и эталонных продуктов сгорания. Объем последних определяется из необходимости сжигания метана для выработки энергии, эквивалентной E_a .

Расчеты, проведенные для вентиляционных выбросов ряда технологических процессов с различным содержанием CO_2 , показали достаточную чувствительность и

универсальность показателя EER, а также возможность его использования для оценки совершенства производственного оборудования как источника выброса парниковых газов. Разработанный показатель – комплексный показатель гигиенической, экологической и энергетической эффективности – рекомендован в 2008 г. Государственным докладом по санитарно-эпидемиологической обстановке в Республике Татарстан как приемлемый для практического использования [3]. К настоящему времени он нашел применение в практике проектирования при оценке эффективности, – и выборе децентрализованных источников и систем теплоснабжения жилых и производственных объектов мелкого и среднего бизнеса в республиках Татарстан и Марий Эл.

Для оценки финансово-экономической эффективности теплотехнических мероприятий в России предлагается множество способов [4, 5], суть которых заключается в модернизации метода приведенных затрат, использовавшегося при государственном регулировании развития народного хозяйства. Наиболее близки к исследуемому вопросу предложения в работах [6, 7] касательно экономически эффективного уровня теплозащиты ограждений: теплозащитные мероприятия ведут к снижению нагрузки на системы отопления и количества сжигаемого газа и, следовательно, относятся к наиболее действенному способу снижения выброса CO₂. Вместе с тем предложенная в работах [6, 7] методика основана на расчете эксплуатационных затрат за длительный период с выбором нормативного срока эксплуатации до 10 и более лет. Из-за значительных колебаний цен на оборудование, газовое топливо и энергоносители корректно предсказать средние или окончательные цены за такой период невозможно. Поэтому результаты расчетов могут показать инвесторам предполагаемые риски, т.е., по сути, произвольные, а не реальные.

В условиях, когда быстро меняются цены на топливо и оборудование, постоянно обновляются его виды, а также при общей неустойчивости мировой и локальных финансовых систем, становится особо важной возможность оперативной технико-экономической оценки вариантов. Соответствующие показатели, кроме объективной оценки экономической эффективности, должны отражать теплотехническое совершенство оборудования и ориентировочную степень риска капиталовложений. Был сделан вывод о целесообразности дополнения метода сравнения проектных решений по гигиенической и энергоэкологической эффективности путем выявления рисков инвестиций по выбросам парниковых газов и топливной ценовой политике за короткий период [8]. Его продолжительность, принимаемая за «нормативный срок», должна позволять определять тренды изменения цен с высокой степенью достоверности. Такими характерными периодами могут служить квартал, полугодие и год. Предложенная в работе [8] методика характеризуется тем, что результаты расчетов приводятся к годовому сроку эксплуатации.

При вычислении показателей за условную денежную единицу (у.д.е.) принимался бивалютный эквивалент по среднему прогнозируемому курсу рубля за год. Приведение затрат к одногодичному сроку эксплуатации t как к «нормативному» обеспечивает более объективный учет влияния нестабильности цен, т.к. дает нижнюю границу эффективности, и, следовательно, максимальную зону риска. Параметрами, определяющими область риска вложений и экономическую эффективность, служат отношения прогнозируемого стоимостного эквивалента S годового расхода топлива (энергоносителя), у.д.е., к приведенным затратам с акцентированным учетом коэффициента использования топлива (к.и.т.). Стоимостный эквивалент энергоносителя для сооружаемой системы

$$S = NmTC/\eta = s/\eta, \quad (3)$$

где N – мощность теплоисточника, кВт; T – продолжительность отопительного периода, ч/год; C – прогнозируемая среднегодовая цена энергоносителя, у.д.е./кВт-ч; η – к.и.т. рассчитываемой системы; s – стоимостный эквивалент расхода топлива, у.д.е., без учёта к.и.т.

Величина S является частью приведенных затрат P , у.д.е., за один год и характеризует годовые топливные затраты. Другие составляющие P – одноразовые вложения

средств, включающие стоимость оборудования, изыскательских, проектно-конструкторских, строительного-монтажных, пусконаладочных и других работ, а также стоимость (без цены топлива) годового обслуживания системы, условно объединены и для простоты записи обозначены в совокупности K :

$$P = S + K = (s/\eta) + K = (s + \eta K) / \eta. \quad (4)$$

Параметр эффективности Π как соотношение P_1, P_2 сравниваемых вариантов выявляет их теплотехническую и ценовую эффективность: при $\Pi = 1$ системы равнозначны, при $\Pi < 1$ эффективнее первая, $\Pi > 1$ – вторая.

$$\Pi = P_1/P_2 = [(s_1 + \eta_1 K_1)\eta_2] / [(s_2 + \eta_2 K_2)\eta_1]. \quad (5)$$

Вместе с тем параметр Π еще не отражает влияния нестабильности топливно-ценовой ситуации на степень риска вложения средств в систему теплоснабжения. Поэтому далее рассматривается параметр пределов риска

$$L = \eta K / S. \quad (6)$$

Он характеризует количество у.д.е. вложений в систему без учёта топливных затрат, на одну у.д.е. топливных затрат в год. При $L \gg 1$ степень риска незначительна. Ориентировочный нижний предел зоны риска – $L = 1$; при $L \ll 1$ вложение средств чрезвычайно рискованно.

Если рассматриваемых вариантов недостаточно, то уточнённые параметры риска F определяются при незначительном различии параметров Π, L сопоставляемых вариантов. При этом

$$\Delta F = (F_h/F_l - 1) 100 \%, \quad (7)$$

где $F_{h(l)}$ – больший (меньший) по сравниваемым вариантам параметр риска из-за предстоящих платежей, определяемый как отношение предстоящих затрат на топливо S , у.д.е., к приведённым затратам P , у.д.е.:

$$F = S/P = (1 + \eta K/s)^{-1}. \quad (8)$$

Система с меньшим значением F , т.е. с меньшей величиной топливных платежей на одну у.д.е. общих затрат, для собственника системы будет менее рискованной.

Для выбора оптимального варианта отопления комплекса жилых зданий (п. Параньга, Марий Эл, ул. Гайсина) было выполнено сравнение эффективности источников теплоснабжения на базе газовых излучающих панелей Robur и газовых котлов Hergmann MICRA2 23E с общей теплопроизводительностью 0,262 МВт. Сравнение вызвано необходимостью представления заказчику обоснованных объективных показателей наличия или отсутствия рисков инвестирования объектов при вероятном ужесточении нормативов по выбросу парниковых газов в ближайшее время. Вследствие затруднений, вызванных кризисным состоянием кредитно-финансовой сферы, для инвестора в период проектирования (2008–2009 гг.) фактор более полного учета рисков приобрел дополнительную значимость.

Для выявления гарантированных и объективных показателей рисков инвестиций по выбросу парниковых газов в расчетах принималось, что получаемая инвестором тепловая энергия экологически чиста, исходя из этого определяем параметр устойчивости по экологическим рискам для теплоисточников на газовом топливе. Тепловая мощность газоиспользующих объектов $Q = 0,262$ МВт, $\alpha = 1,15$, η (к.и.т.) = 0,903. Высота источника выброса $H = 14$ м, диаметр $D = 0,10$ м, температура выброса $t = 200$ °С (плотность дымовых газов $\rho = 0,75$ кг/м³), скорость выброса $w'_0 = 3,3$ м/с, скорость ветра $u'_m = 2$ м/с, температура воздуха 0 °С, максимальная приземная концентрация загрязнителя (по NO_x) наблюдается на расстоянии $X = 383,5$ м от источника.

Определение степени энергоэкологичности EER проводилось по расходу газа W_f . Исследуемый выброс, как и эталонный, – продукты сгорания газового топлива. Поэтому $E_{aH_2O}^{dn} + E_{aCO_2}^{dn} = E_{etH_2O}^{dn} + E_{etCO_2}^{dn}$, и

$$EER = 1 - \frac{E_{aH_2O}^{dn} + E_{aCO_2}^{dn}}{39057,4W_f} = 1 - \frac{3868,5W_f + 1162,7W_f}{39057,4W_f} = 0,871.$$

Интенсивность выброса как продуктов сгорания природного газа с низшей теплотой сгорания 34,3 МВт составит:

$$W = 10,52\alpha Q / \eta Q_t = 0,1023\text{м}^3/\text{с}.$$

Из-за невысокой мощности теплоисточника риски вследствие ужесточения нормативов по NO_x не учитываются. Определение показателя санитарно-гигиенического и экологического совершенства очистки η_{HE} выполняется в виде

$$\eta_{\text{HE}} = \frac{V}{W\tau_0} = \pi X^2 \left\{ H + D \left[w_0^r (1,239 - 0,147 u_m^r) - 0,514 \right] \frac{(\rho_0 - \rho_{ar})}{(\rho - \rho_{ar})} \right\} / (4W\tau_0) = 8901,93.$$

Комплексный показатель $\eta_{\text{COMP}} = EER \cdot \eta_{\text{HE}} = 7753,584$.

Полученные значения η_{HE} и η_{COMP} показывают высокую устойчивость объекта по рискам, связанным с санитарно-гигиеническими и экологическими проблемами. Так, например, значение η_{HE} соответствует заполнению выбросом контрольного объема приблизительно в течение 5 мес., что значительно превосходит срок, необходимый для трансформации в атмосфере обычных загрязнителей. Для гарантированной сорбции в окружающей среде выбросов сжигания газообразного топлива достаточно 10–14 дней, что соответствует значению η_{HE} порядка 500–700.

Перейдем далее к анализу рисков инвестиций и сравнению газовых котлов Hermann MICRA2 23E и инфракрасных излучателей Robur по аспекту топливно-энергетических затрат. Расчеты рисков выполнены для тарифа C газового топлива, равного 80 у.д.е. за 1000 м³. Стоимость S_1 энергоносителя определяем по формуле (3). При требуемой мощности теплоисточников по первому варианту $N_1 = 0,262$ МВт, теплоте сгорания используемого газового топлива $Q_t = 34,3$ МВт, продолжительности отопительного периода $T = 5200$ ч/год, коэффициенте использования топлива для первого варианта $\eta_1 = 0,903$ получим $S_1 = 12668,21$ у.д.е.

Стоимость (без затрат на топливо) годового обслуживания системы на газовом топливе (7200 у.д.е.) и «капитальные» вложения, включающие стоимость оборудования (стоимость 1 котла Hermann MICRA2 23E 20000 у.д.е., всего на дом потребовалось 27 котлов, итого на котельное оборудование 540000 у.д.е.), проектно-конструкторских (14000 у.д.е.), строительно-монтажных, пусконаладочных и других работ (14500 у.д.е.), составят $K_1 = 575700$ у.д.е. С учетом этого приведенные затраты по формуле (4), у.д.е., равны:

$$P_1 = S_1 + K_1 = 588368.$$

Для второго варианта, предполагающего покрытие отопительной нагрузки инфракрасными излучателями Robur, учитывается экономия тепловой мощности на 12 % при лучистом отоплении за счет возможности поддержания в помещении более низкой комфортной температуры. Однако этот эффект в определенной степени нивелируется ухудшением коэффициента использования топлива $\eta_2 = 0,8$.

В остальном стоимостный эквивалент энергоносителя S_2 , у.д.е., определяется аналогично первому варианту и составляет:

$$S_2 = N_2 mTC / \eta_2 = 12583,33.$$

Полученный результат показывает, что по стоимости энергоносителя второй вариант оказывается менее затратным, хотя различие невелико.

По второму варианту для обеспечения требуемой тепловой мощности необходимо установить $262 \cdot 0,88 / (1,1 \cdot 0,8) = 262$ инфракрасных излучателя Robur мощностью по 1,1 кВт. Стоимость единицы такого оборудования составляет 3000 у.д.е. Суммарно

стоимость годового обслуживания системы (2100 у.д.е.) и «капитальных» вложений, включая стоимость оборудования, проектно-конструкторских (2500 у.д.е.), строительно-монтажных, пусконаладочных и других работ (3500 у.д.е.), составит соответственно $K_2 = 794100$ у.д.е.

С учетом этого величина приведенных затрат, у.д.е., по второму варианту

$$P_2 = S_2 + K_2 = 12583,33 + 794100 = 806683,33.$$

В соответствии с выражением (5) параметр эффективности Π , отражающий ценовую привлекательность и теплотехническое совершенство систем, составит 0,73. Условие $\eta_2 < \eta_1$ здесь не дает преимущества первому варианту – по второму варианту требуется меньшая тепловая мощность. Так как параметр $\Pi < 1$, то первый вариант оказывается очевидно выгодным и вследствие дороговизны излучателей.

Для оценки влияния нестабильности цены энергоносителей на степень риска вложения средств в систему теплоснабжения переходим к определению параметров пределов риска в соответствии с выражением (6):

$$L_1 = \eta_1 K_1 / S_1 = 0,903 \cdot 575700 / 12668,21 = 41,036;$$

$$L_2 = \eta_2 K_2 / S_2 = 0,8 \cdot 794100 / 12583,33 = 50,486.$$

Значения L_1, L_2 существенно превышают нижний предел зоны риска $L = 1$. Это позволяет сделать однозначный вывод об отсутствии рисков инвестиций на прогнозируемый срок, учитывая при этом, что такой прогноз будет иметь силу и на момент ожидания нестабильности цен на энергоносители. Полученный результат также показывает, что при уровне капитала, позволяющем без затруднений приобрести газоиспользующее оборудование, не составит проблемы и обеспечивать определенную выше оплату энергоносителей в период стабильного изменения цен на рынке. Опасность могут представлять только форс-мажорные обстоятельства, вероятность возникновения которых растет с увеличением прогнозируемого периода. На годичный срок прогнозирования, используемый в данной работе, по параметрам L_1, L_2 могут быть выбраны оба варианта, с неявным преимуществом второго.

В периоды, когда объективное прогнозирование цен энергоносителей затруднено, риски сопоставляемых вариантов из-за предстоящих платежей за энергоносители на более или менее длительный период можно оценить по параметру F в соответствии с выражением (8):

$$F_1 = S_1 / P_1 = 12668,21 / 588368 = 0,0215;$$

$$F_2 = S_2 / P_2 = 12583,33 / 806683,33 = 0,0156.$$

У системы отопления с газовыми котлами величина платежей за энергоносители на одну у.д.е. общих затрат выше: $F_1 < F_2$. Поэтому очевидно, что она будет более рискованной для собственника системы и на период дольше прогнозируемого. Оценочное значение превышения степени риска при использовании системы отопления с газовыми котлами Hermann MICRA2 23E по сравнению с системой, использующей инфракрасные излучатели Robur мощностью 1,1 кВт, в соответствии с выражением (7), составит:

$$\Delta F = (F_1 / F_2 - 1) \cdot 100 \% = 38 \%.$$

Результаты расчетов параметров рисков сведены в таблицу.

Номер варианта	K, у.д.е.	S, у.д.е.	η	L	P, у.д.е.	Π	F	$\Delta F, \%$	Приоритетный вариант			
									по L	по Π	по ΔF	ИТОГОВЫЙ
1	575700	12668	0,903	41,04	588368	0,73	0,0215	38	2	1	2	1
2	794100	12583	0,800	58,13	806683		0,0156		неяв			

Сопоставление параметров показывает следующее. На настоящее время степень риска вложения средств в систему отопления жилых зданий по улице Гайсина при использовании котлов Hermann MICRA2 23E в 1,38 раза выше, чем при использовании излучателей Robur. Для инвестора с недостатком свободного капитала представляется более привлекательным первый вариант с использованием 27 котлов Hermann MICRA2 23E на газовом топливе: он требует меньше капитальных вложений (параметр P), а краткосрочные риски (параметр L) невелики. Вместе с тем при достаточности средств для капитальных вложений приоритетным можно считать второй вариант, обеспечивающий меньшие риски и на период дольше прогнозируемого.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет сделать выбор теплоисточников и систем теплоснабжения с учетом рисков, непосредственно связанных с энергоэкономичностью, что в современной ситуации важно для инвесторов и собственников сооружаемых объектов. Ориентированность методики на минимизацию топливных затрат как единственный реальный способ уменьшения выбросов CO_2 позволяет снизить риски и на случай изменения нормативов в связи с необходимостью выполнения Россией международных обязательств по UN FCCC.

Список литературы

1. Еремкин, А.И. Энергоэкологическая эффективность очистки выбросов при наличии парниковых газов [Текст] / А.И. Еремкин, М. Г. Зиганшин // Региональная архитектура и строительство. – 2007. – №2 (3). – С. 15–19.
2. Еремкин, А.И. Комплексная оценка санитарно-гигиенической, экологической и технической эффективности систем очистки производственных выбросов [Текст] / А.И. Еремкин, А.В. Иванов, М.Г. Зиганшин, А.М. Зиганшин // Казанский медицинский журнал. – 2008. – Т. 89. – №4. – С. 529–533.
3. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Республике Татарстан в 2007 году [Текст]: государственный доклад // Раздел 4. Основные результаты научных исследований в области гигиены, эпидемиологии и профилактической медицины по Республике Татарстан. – Казань, 2008. – С. 204.
4. Богуславский, Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст] / Л.Д. Богуславский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
5. О позиции РСПП по вопросам формирования и реализации государственной политики в области энергоэффективности и энергосбережения, сентябрь 2007 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.xn--o1aabe.xn--1ai/Default.aspx?CatalogId=1399&d_no=2337.
6. Гагарин, В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст] / В.Г. Гагарин. – Ч. 1 // АВОК. – 2009. – №1. – С. 10–17.
7. Гагарин, В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст] / В.Г. Гагарин. – Ч. 2 // АВОК. – 2009. – №2. – С. 14–24.
8. Гафиятов, И.З. Показатели экологической и энергоэкономической эффективности источников теплоснабжения зданий при наличии парниковых газов [Текст] / И.З. Гафиятов, М.Г. Зиганшин, А.В. Дмитриев // Проблемы современной экономики. – 2009. – №2(30). – С. 330–333.

УДК 620.9:644

*Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва*Россия, 430904, г. Саранск, п. Ялга,
ул. Российская, д. 5,
тел.: (8342) 25-41-01, 47-57-77**Макеев Андрей Николаевич**,
аспирант кафедры «Теплоэнергетические
системы»
Тел.: 89179916204**Левцев Алексей Павлович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Теплоэнергетические системы»
Тел.: 89061633200*Mordvinian State University of N.P. Ogareva*Russia, 430904, Saransk, Yalga, 5,
Rossiyskay St.
tel.: (8342) 25-41-01, 47-57-77**Makeev Audrey Nikolayevich**,
Postgraduate of the department «Heat power
engineering system»
Tel.: 89179916204**Levtsev Aleksey Pavlovich**,
doctor of Science, Professor, Head of the
department «Heat power engineering system»
Tel.: 89061633200

ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

А.Н. Макеев, А.П. Левцев

Изложены предпосылки и целесообразность использования импульсных систем теплоснабжения общественных зданий, а также способ реализации импульсной подачи теплоносителя с помощью гидродинамического водоподъемного устройства в различных типах систем теплоснабжения.

Ключевые слова: система теплоснабжения, гидравлический удар, коэффициент теплоотдачи, гидродинамическое водоподъемное устройство, располагаемый напор.

PULSE SYSTEMS OF PUBLIC BUILDINGS HEAT SUPPLY

A.N. Makeev, A.P. Levtsev

The article shows the background and efficiency of using pulse system in public buildings heat supply. It describes the way of pulse heat agent delivery with the help of hydrodynamic water lifting device to different of heat supply systems.

Keywords: system of heat supply, hydraulic impact, heat-transfer coefficient, hydrodynamic water-lifting device, the located pressure.

В настоящее время потенциал развития традиционных систем теплоснабжения, в части увеличения теплопередачи, практически исчерпан. Достичь практически максимума производительности удалось в результате применения современного теплоиспользующего оборудования при соблюдении действующих требований и стандартов политики энергосбережения. Замена кожухотрубных водоподогревателей на пластинчатые привела к существенному увеличению турбулизации потока теплоносителя, а следовательно, увеличению теплопередачи. Вместе с тем применение пластинчатых теплообменников обострило проблему их зашламливания и закипания, т.к. потребовались дополнительные затраты на промывку.

Существующие на данный момент системы теплоснабжения могут получить принципиально новое направление повышения энергоэффективности, если учесть тот факт, что коэффициент теплоотдачи движущегося потока значительно зависит от амплитуды пульсаций скорости его истечения. Экспериментальная зависимость относительного коэффициента теплопередачи от относительной амплитуды пульсаций скорости истечения потока теплоносителя по Б.М. Галицейскому [1] имеет вид, представленный на рис. 1.

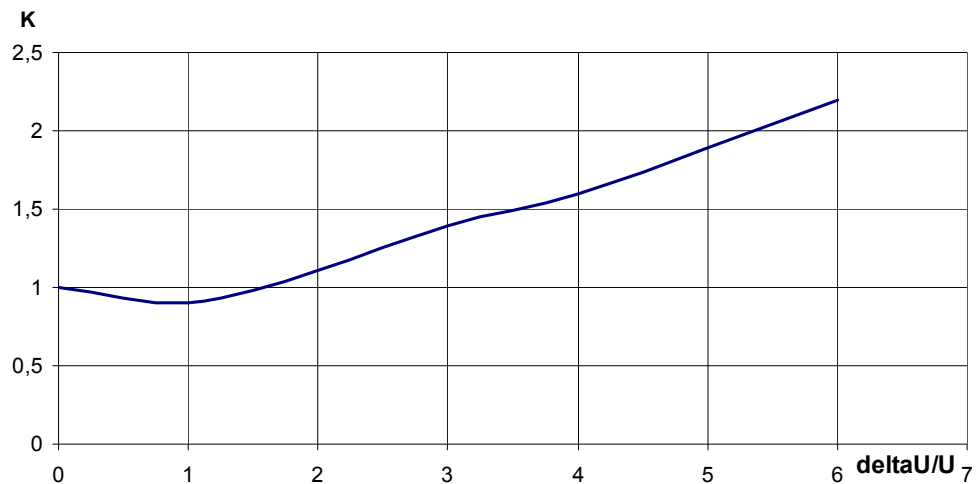


Рис. 1. Зависимость относительного среднего по длине теплообменника коэффициента теплопередачи K от относительной амплитуды пульсаций скорости $\Delta U/U$

С учётом этого более широкое и целесообразное применение, в силу большей энергоэффективности и надёжности, относительно традиционных систем, могут получить импульсные системы теплоснабжения. Схемы и опытные образцы подобных импульсных систем разработаны на кафедре теплоэнергетических систем ГОУВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва» для систем теплоснабжения, присоединяемых к источнику теплоты по зависимой и отдельно независимой схеме.

Принципиальная схема импульсной системы отопления при независимом присоединении к источнику теплоты имеет вид, представленный на рис.2 [1].

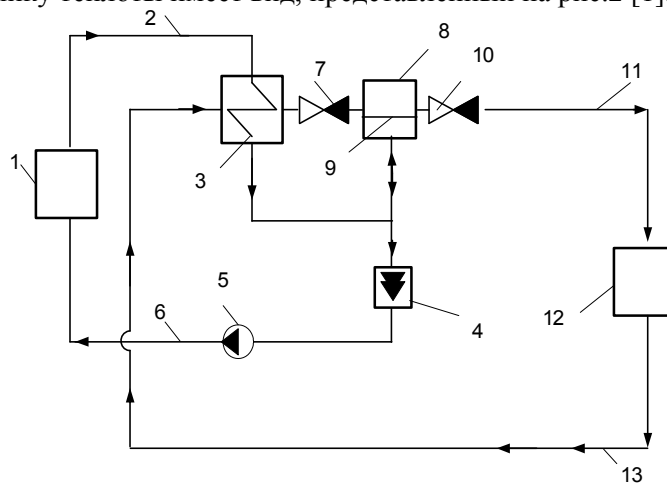


Рис. 2. Принципиальная схема импульсной системы теплоснабжения при независимом присоединении к источнику теплоты

Данная импульсная система теплоснабжения работает следующим образом. Изначально осуществляют её заполнение соответствующими видами теплоносителей (высокотемпературным и низкотемпературным), затем с помощью сетевого насоса 5 осуществляют циркуляцию высокотемпературного теплоносителя от источника теплоты 1 по подающему 2 и обратному 6 трубопроводам через теплообменник 3 и самовозбуждаемый генератор гидравлического удара 4, который может быть установлен в подающий или обратный трубопровод. При достижении определенной (заданной) скорости циркуляции высокотемпературного теплоносителя через самовозбуждаемый генератор гидравлического удара его проходное сечение автоматически закрывается и возникает гидравлический удар, положительная волна распространения которого, воздействуя с одной стороны на эластичную диафрагму 9 импульсного нагнетателя 8, приводит к осуществлению пульсирующей, соответствующей периоду смены положи-

тельной волны гидравлического удара на отрицательную, организации движения низкотемпературного теплоносителя через первый 7 и второй 10 обратные клапаны относительно второй стороны эластичной диафрагмы.

В момент, когда положительная волна распространения гидравлического удара израсходует свою энергию и сменит знак на противоположный, проходное сечение самовозбуждаемого генератора гидравлического удара 4 автоматически откроется и циркуляция высокотемпературного теплоносителя возобновится до тех пор, пока его скорость не достигнет вновь величины, достаточной для автоматического закрытия проходного сечения.

С каждым последующим циклом возобновления циркуляции высокотемпературного теплоносителя эластичная диафрагма 9 возвращается в свое первоначальное положение и при закрытом в это время обратном клапане выхода 10 производит некоторое разряжение в импульсном нагнетателе 8, благодаря чему открывается обратный клапан входа 7 и осуществляется последующая циркуляция низкотемпературного теплоносителя в системе теплоснабжения 12 через разводящий подающий 11 и обратный трубопровод 13.

Принципиальная схема импульсной системы отопления при зависимом присоединении к источнику теплоты имеет вид, представленный на рис.3, которая работает следующим образом [2]. Горячий теплоноситель по подающему трубопроводу 1 поступает в теплообменник 2, где охлаждается и отводится по обратному трубопроводу 3. Охлажденный теплоноситель после теплообменника 2, двигаясь по обратному трубопроводу 3 с определенной скоростью, закрывает проходное сечение установленного на нем самовозбуждаемого генератора гидравлического удара 4. При этом в обратном трубопроводе 2 создается гидравлический удар, под действием которого открывается обратный клапан 5, установленный на смесительном трубопроводе 6, и под избыточным давлением часть теплоносителя, охлажденного в теплообменнике 2, выдавливается в гидроаккумулятор 7, а из него через регулировочный вентиль 8 по смесительному трубопроводу 6 поступает в подающий трубопровод 1 системы отопления. Избыточное давление гидравлического удара, искусственно созданного в обратном трубопроводе 2, падает, автоматически открывается проходное сечение самовозбуждаемого генератора гидравлического удара 4 и закрывается обратный клапан 5, а затем процесс вновь повторяется в описанной выше последовательности.

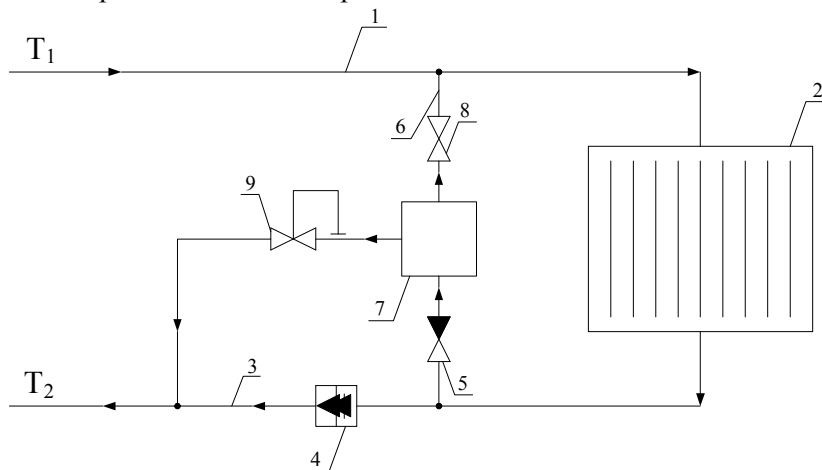


Рис. 3. Принципиальная схема импульсной системы отопления при зависимом присоединении к источнику теплоты

Коэффициент смешения будет зависеть от степени открытия регулировочного вентиля 8, установленного на смесительном трубопроводе 6 после гидроаккумулятора 7. Для предотвращения излишнего повышения давления в гидроаккумуляторе 7, в случае если коэффициент смешения минимален, установлен регулятор давления «до себя» 9, который сливает часть охлажденного в теплообменнике 2 теплоносителя в обратный трубопровод 3 на участке после ударного узла 4.

Система отопления здания с разделением на технические этажи с зависимым присоединением к тепловой сети (рис.4.) работает следующим образом [2]. Система отопления заполняется теплоносителем до полного удаления из нее воздуха путем подачи теплоносителя по подающему трубопроводу 1 к элеваторному узлу 3, где происходит его смешение с теплоносителем из обратного трубопровода 2.

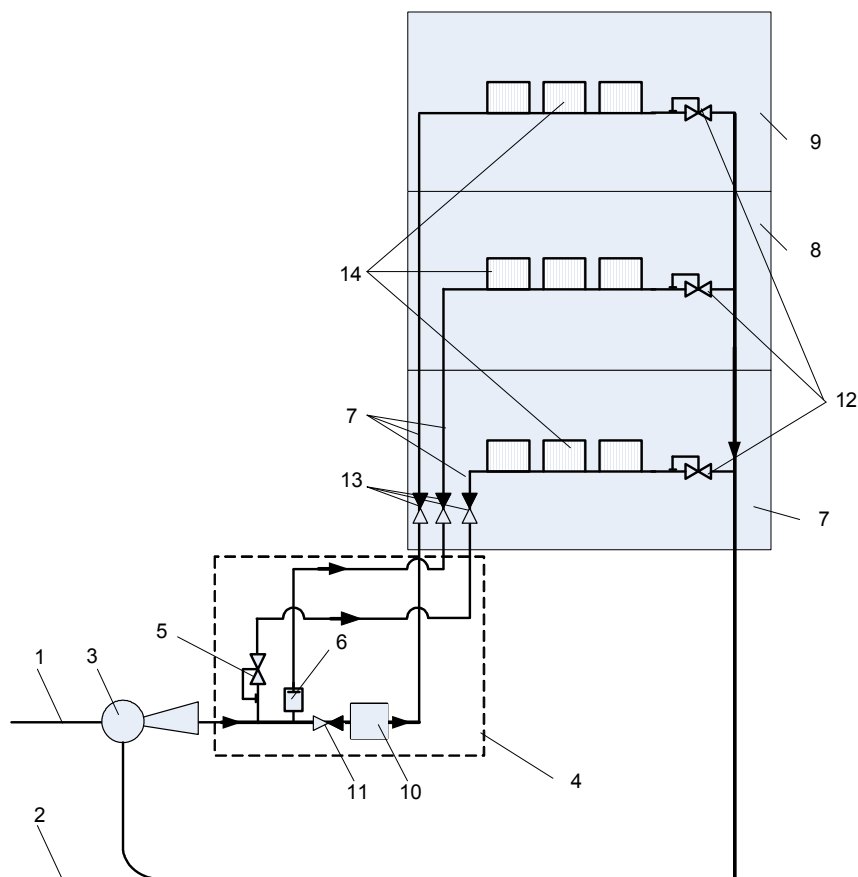


Рис. 4. Принципиальная схема импульсной системы отопления при зависимом присоединении к источнику теплоты с разделением на технические этажи (организация позонной циркуляции)

При этом на участке перед гидродинамическим водоподъемным устройством 4 на выходе элеваторного узла 3 создается избыточный напор и поддерживается постоянным во времени за счет регулятора расхода «до себя» 5 в любом состоянии ударного узла 6, проходное сечение которого при этом закрыто, циркуляция теплоносителя по разводящим трубопроводам 7 через зону максимальной тепловой нагрузки 8 и зону максимального располагаемого напора 9 отсутствует, а в зоне наименьшей тепловой нагрузки 7 расход теплоносителя достигает своего максимального значения.

Изначально принудительно открывая проходное сечение ударного узла 6 (управляющий механизм на схеме не указан), теплоноситель начинает поступать в зону максимальной тепловой нагрузки здания 8 с нарастающей скоростью через ударный узел 6, а при достижении ею определенного значения он, управляемый движущимся теплоносителем, автоматически закроется и возникнет явление гидравлического удара, прямая волна которого начнет обеспечивать накачку теплоносителя в демпфер 10 через обратный клапан 11. В момент когда проходное сечение ударного узла 6 полностью открыто, циркуляция теплоносителя в зоне наименьшей тепловой нагрузки 7 достигает своего минимального значения. Частично во время и после накачки демпфер 10, возвращаясь в свое исходное состояние, обеспечит пульсирующую подачу теплоносителя в зону системы отопления максимального располагаемого напора 9 при рабочем давлении, превышающем давление, присутствующее на выходе элеваторного узла 3. В момент когда ударный клапан 6 полностью закрыт, подача теплоносителя в зону

максимальной тепловой нагрузки 8 полностью прекращается, в результате чего впоследствии реализуется пульсирующий режим течения теплоносителя.

После того как положительная волна гидравлического удара полностью израсходует свою энергию, под действием отрицательной волны проходное сечение ударного узла 6 гидродинамического водоподъемного устройства 4 автоматически откроется за счет гравитационных сил, и процесс работы гидродинамического водоподъемного устройства вновь повторится в описанной выше последовательности. Балансировка зон данной системы отопления 7,8,9 производится путем регулировки характеристик демпфера 10 и регулятора давления «до себя» 5.

Регуляторы расхода «до себя» 12 препятствуют опорожнению системы отопления в результате действия гравитационных сил, а обратные клапаны 13, установленные на входе каждой зоны системы отопления 7,8,9, организуют ток теплоносителя по разводящим трубопроводам 13 только в направлении от гидродинамического водоподъемного устройства 4 к отопительным приборам 14.

На кафедре теплоэнергетических систем института механики и энергетики ГОУВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва» с привлечением специалистов Мордовского филиала ТГК-6, изготовлен экспериментальный образец данной системы отопления, представленный на рис.5 [3, 4]. В настоящее время ведется научно-исследовательская работа в данном направлении с использованием собственных сил, а также с привлечением сторонних специалистов.

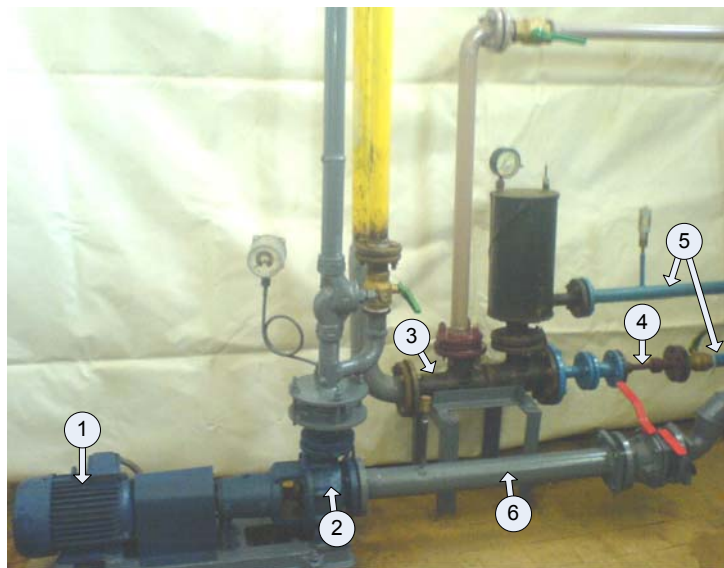


Рис.5. Позонная организация пульсирующего движения теплоносителей.

Экспериментальный образец:

- 1 – электропривод; 2 – насос; 3 – гидравлический таран; 4 – кавитатор;
5 – подающий трубопровод; 6 – обратный трубопровод

Опытный (макетный) образец системы теплоснабжения с независимым присоединением к источнику теплоты (см. рис.2), размещенный в лаборатории «Источники и системы теплоснабжения» 23-го корпуса ГОУВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва», представлен на рис.6.

Работоспособность опытного образца импульсной системы теплоснабжения с независимым присоединением системы теплопотребления показана на рис.7, где представлен характер перевода режима циркуляции теплоносителей из стационарного в импульсный. Как видно из графика, система теплоснабжения довольно устойчиво работает в импульсном режиме, в данном случае с частотой генерации импульсов, равной 1,66 Гц. В случае использования горячего водоснабжения система обладает самоограничивающей способностью по располагаемому давлению и при изменении

расхода низкотемпературного теплоносителя (в контуре системы ГВС) частота генерации импульсов также не меняется.



Рис. 6. Импульсная система теплоснабжения с независимым присоединением системы теплотребления к источнику теплоты:

- 1, 2 – подающий и обратный трубопроводы высокотемпературного теплоносителя;
 3 – самовозбуждаемый генератор гидравлического удара (ударный узел); 4 – импульсный нагнетатель; 5 – водо-водяной теплообменник; 6, 7 – подающий и обратный трубопроводы низкотемпературного теплоносителя (системы теплотребления); 8 – тепловая нагрузка;
 9 – узел учета тепловой энергии

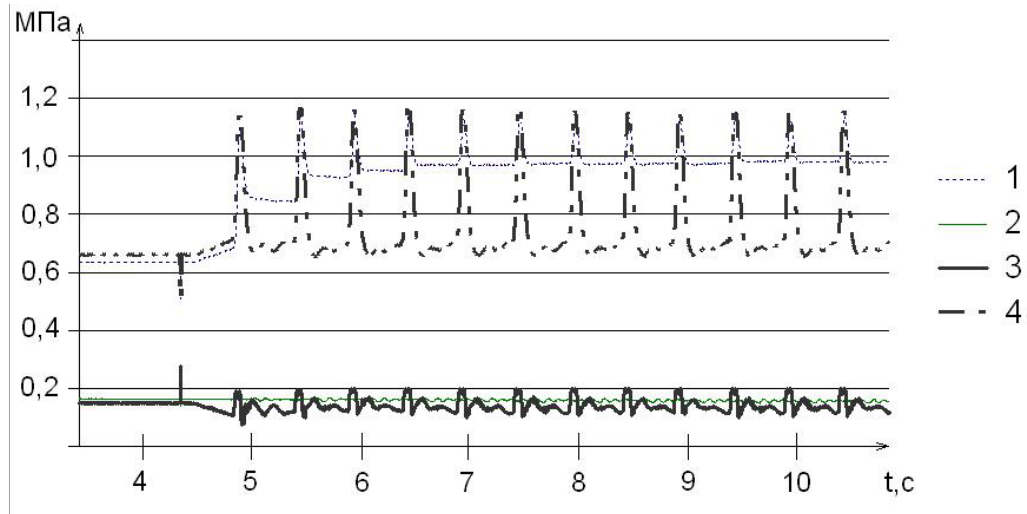


Рис. 7. Перевод системы теплоснабжения с независимым присоединением системы теплотребления из стационарного режима циркуляции теплоносителей в импульсный:

- 1 – пульсации давления высокотемпературного теплоносителя до самовозбуждаемого генератора гидравлического удара в тепловой сети; 2 – пульсации давления низкотемпературного теплоносителя до импульсного нагнетателя в системе теплотребления; 3 – пульсации давления низкотемпературного теплоносителя после импульсного нагнетателя в системе теплотребления; 4 – пульсации давления высокотемпературного теплоносителя после самовозбуждаемого генератора гидравлического удара в тепловой сети

Каждая из предложенных схем реализует пульсирующий режим течения теплоносителя, а потому, в заключение, следует отметить, что в любой из них можем наблюдать:

- увеличение срока службы теплоиспользующего оборудования за счет реализации эффекта самоочищения пространств циркуляции теплоносителя при его пульсирующем режиме течения;

- уменьшение теплопередающих поверхностей теплоиспользующего оборудования за счет возрастания коэффициента теплопередачи при пульсирующем режиме в 1,3–2 раза;

- снижение материальных затрат на проектирование и монтаж системы теплоснабжения за счет снижения её общей металлоемкости;

- отсутствие затрат на транспорт теплоносителя и тепловой энергии в системе теплоснабжения за счет использования только располагаемого напора высокотемпературного теплоносителя (в случае использования схемы рис. 2);

- относительную простоту реализации пульсирующего режима;

- возможность создания значительного (10^6 Па и более) располагаемого напора, без применения повысительных насосов, что необходимо для высотных зданий и протяженных сетей.

Список литературы

1. Галицейский, Б.М. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках [Текст] / Б.М. Галицейский, Ю.А. Рыжов, Е.В. Якуш. – М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.

2. Пат. РФ №88104, МПК F24D 3/02. Система отопления (варианты) [Текст] / А.Н. Макеев, А.П. Левцев, А.А. Лазарев. – № 2009126711; заявлено 13.07.2009; опубл. 27.10.2009, бюл.№ 30.

3. Пат. РФ №82798, МПК F04F7/02. Таран гидравлический [Текст] / А.Н. Макеев, А.П. Левцев. – № 2008150029; заявлено 17.12.2008; опубл. 10.05.2009, бюл.№ 13.

4. Пат. РФ №86841, МПК A01G25/00. Ударный узел для газогидравлического устройства [Текст] / А.П. Левцев, А.Н. Макеев. – № 2009116882; заявлено 04.05.2009; опубл. 20.09.2009, бюл.№ 26.

УДК 69.051

Тульский государственный университет
Россия, 300600, г.Тула, проспект Ленина,
д. 92, тел./факс: (4872) 35-34-44

Шульженко Сергей Николаевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Городское строительство и
архитектура».
E-mail: info@tsu.tula.ru

Tula State University

Russia, 300600, Tula, 92, Prospect Lenina,
tel./fax: (4872) 35-34-44

Shulzhenko Sergey Nicolaevich,
Candidate of Science.
Associate Professor of the department
«City engineering and architecture»
E-mail: info@tsu.tula.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕРРИТОРИИ ЗАСТРОЙКИ КОМПЛЕКСАМИ

С.Н. Шульженко

Приведены варианты комплексного подхода по инженерной подготовке территории под застройку. Показана принципиальная разница совершенствования традиционных методов организации, которая заключается в выборе наиболее эффективных вариантов уже на стадии проведения тендеров.

Ключевые слова: комплексная застройка, инженерная подготовка.

ORGANIZATION IMPROVEMENTS OF ENGINEERING PREPARATION OF TERRITORY FOR COMPLEXES BUILDING

S.N. Shulzhenko

Variants of complex approach to engineering preparation of territory for building are given. The basic difference of traditional method organization improvement includes a choice of the most effective variants on a stage of tenders.

Keywords: complex building, engineering preparation.

Современный строительный процесс возведения подземной части сооружения характеризуется специализацией, требующей выполнения каждого вида работ в точно установленное время и в конкретном месте. Особое значение приобретает это правило при выполнении работ по инженерной подготовке и благоустройству территории в условиях комплексной застройки жилых микрорайонов. По своим темпам строительство зданий, как правило, опережает устройство водопроводных, канализационных, газовых, тепловых и телефонных сетей, водостоков, дорог и т.п. В этих условиях повышение эффективности строительства инженерных сетей и сооружений, особенно сокращение сроков их строительства, становится главной задачей строительных организаций. На примере строительства микрорайона «Платоновский лес» были проведены экспериментальные работы по улучшению инженерной подготовки и благоустройства территорий в следующих направлениях:

- совершенствования технологичности проектных решений инженерной подготовки;
- совершенствования конструирования;
- подбора оптимального комплекта механизмов и машин с целью повышения производительности труда и уровня механизации прокладки подземных коммуникаций.

Экспериментальное внедрение осуществлялось в соответствии с мероприятиями, приведенными в табл. 1.

Перечень мероприятий и объем опытного внедрения

Наименование	Объем опытного внедрения	Расчетная эффективность
Бесканальная прокладка теплотрассы с изоляцией армопенобетоном (асфальтокерамзитобетоном)	300 п.м.	Сокращение трудозатрат (ΔQ) 235 чел.-ч. на 100 м
Замена асбестоцементных дренажных труб трубофильтрами из керамзитостекла или керамзитобетона > 57 и 100 мм	5000 п.м.	Увеличение надежности дренажной системы, сокращение потерь асбестоцементных труб при пробивке в них дренажных отверстий
Замена пристенных дренажей кольцевыми – дренажами, совмещенными с ливневой канализацией	500 м на один микрорайон	1,8–2 руб. на 1 м полезной площади жилых домов
Изоляция стальных трубопроводов битумным покрытием, армированным стекловолокном	1000 м	Увеличение сроков службы трубопроводов, сокращение затрат на ремонт изоляции при длительном хранении
Организация заводской гидроизоляции сборных железобетонных элементов теплоканалов и колодцев	300 м ³	1,43 чел.-ч/м ³
Замена обмазочной изоляции газопроводов оклеечной изоляцией из липкой полиэтиленовой ленты	300 м ³	0,3 чел.-ч на 1 стык
Замена кирпичной кладки горловин колодцев доборными железобетонными кольцами высотой 10–70 см	35 м ³	5 чел.-ч/м ³
Внедрение сборных оснований канализационных колодцев стаканного типа с лотками для труб диам. 200, 250, 300 мм	150 м ³	5,5 чел.-ч/м ³
Организация заводского изготовления гидрозатворов для газопроводов $D > 150$ мм и более по действующим нормативным документам	20 шт.	Повышение безопасности эксплуатации газопроводов
Внедрение укрупненных бортовых камней длиной 2–3 м с исключением бетонных оснований	200 м	0,8 чел.-дн. на 10 м борта

Условия строительства в районе «Платоновский лес» и объемы работ по прокладке коммуникаций отличались большим разнообразием. Работы осложнялись высоким уровнем грунтовых вод.

Газопровод, хозяйственно-фекальная и ливневая канализации были проложены на определенном расстоянии от жилых домов (соответственно 3,5; 5 и 6,5 м). Почти каждый дом был закольцован дренажем. Дренаж предусматривался из асбестоцементных труб $D = 100$ мм с отверстиями в двухслойной гравийно-щебеночной обсыпке толщиной каждого слоя 15 см. Первый слой (гравий или щебень) – 3,3 + 12,5 мм, второй слой (крупнозернистый песок) – 0,3 + 1,5 мм.

Внутриквартальные дороги шириной 5,5 м, запроектированные над инженерными сетями, располагались на расстоянии 8,45 м от оси дома. При этом сохранялись имеющиеся с противоположной стороны дома деревья и постройки. Большая часть домов строилась на свайных фундаментах.

Строительство фундаментов и прокладка коммуникаций велись с применением водопонижительных установок (рис.1). Башенные краны для монтажа надземной части жилых домов в большинстве случаев устанавливались над местом прокладки канализации и газопровода. Все это усложняло и приводило к удорожанию производства работ. На 1-м и 2-м этапах строительства микрорайона «Платоновский лес» в экспериментальном порядке проводилась комплексная инженерная подготовка с применением кольцевого дренажа из трубофильтров.

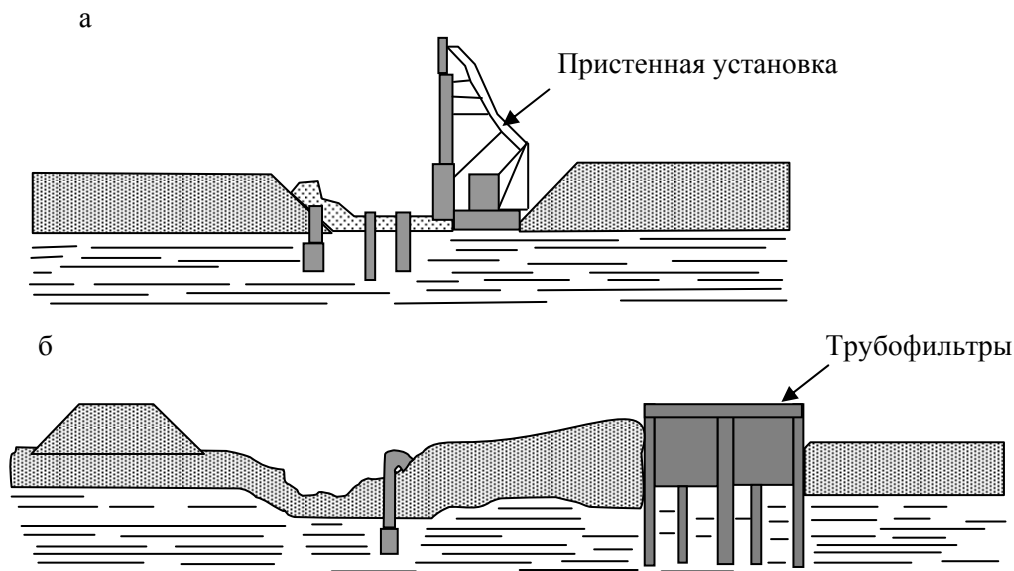


Рис.1. Схема понижения грунтовых вод:

а – пристенным дренажем; б – кольцевым дренажем из трубофильтров

Все инженерные коммуникации этих этапов строительства прокладывались в мелкозернистых песках. Пески характеризуются высокой степенью однородности и относятся к недиффузионным, т.е. перемещение и вынос частиц в пределах самого грунта отсутствуют (табл. 2). На таких участках целесообразно для устройства дренажа применять трубофильтры из пористого бетона без дополнительной обсыпки из дренирующих материалов.

В плане дренаж запроектирован параллельно ливневой канализации, но глубже ее на 40–50 см (рис.2).

Т а б л и ц а 2

Характеристика грунтов 1-го этапа строительства

Номер образца	Номер скважины	Глубина отбора пробы, м	D3	D10	D17	D60	D60/D10	D3/D17	Коэффициент пористости, E
101	107	2	0,5	0,074	0,130	0,167	226	0,49	0,646
102	124	2	0,52	0,074	0,104	0,165	223	0,5	0,394
103	124	4	0,05	0,064	0,02	0,155	262	0,63	0,534
104	142	2,6	1,052	0,074	0,101	0,165	220	0,50	0,974
105	142	4,5	0,053	0,073	0,098	0,15	219	0,56	-
106	147	4	0,051	0,063	0,079	0,155	246	0,65	0,506
107	148	3,5	0,052	0,066	0,082	0,157	235	0,63	-
111	3	4,5	0,052	0,096	0,108	0,116	183	0,63	0,574
117	114	3	0,051	0,078	0,103	0,165	212	0,5	-

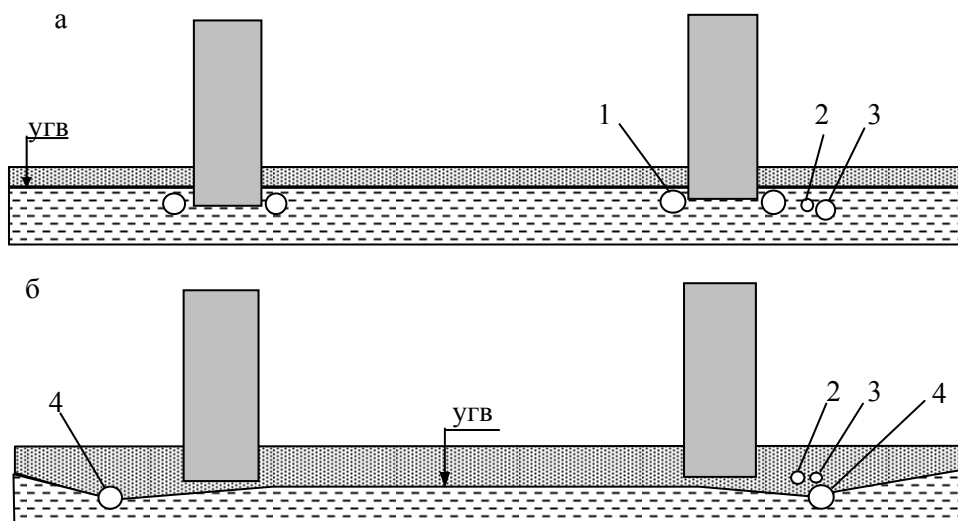


Рис. 2. Конструкция дренажа:

а – из асбестоцементных труб с гравийно-песчаной обсыпкой:

1 – пристенный дренаж; 2 – хозяйственно-фекальная канализация; 3 – ливневая канализация;

б – из керамзитобетонных трубофильтров конструкции: 4 – дренаж из трубофильтров

Трубофильтры для строительства дренажей микрорайона «Платоновский лес-3» поставлял экспериментальный полигон. Соединение трубофильтров полиэтиленовыми муфтами позволяло вести укладку дренажа ниже уровня грунтовых вод, укладывая трубы сразу за экскаватором, пока в траншею не поступила вода.

Была принята следующая организация производства работ по инженерной подготовке микрорайона (рис. 3):

- вслед за экскаватором, который копает общую траншею для канализации и дренажа, укладывается дренаж из трубофильтров. Укладка ведется от места подключения дренажа и ливневой канализации к магистральному коллектору;
- после осушения траншеи дренажными трубофильтрами прокладываются ливневая и хозяйственно-фекальная канализации;
- строительство цоколей ведется после окончания прокладки канализации и дренажа.

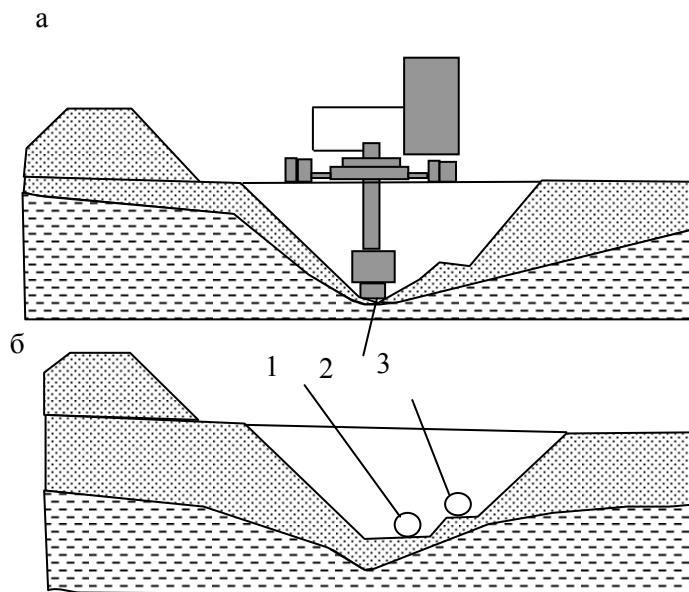


Рис. 3. Прокладка коммуникаций под защитой водопонижительных установок:

а – укладка дренажа; б – укладка канализационных труб в осушенную траншею;

1 – дренаж; 2 – ливневая канализация; 3 – хозяйственно-фекальная канализация

При такой организации устройства инженерной подготовки отпадает надобность в водопонижении при строительстве цоколей, а канализационные сети укладываются в сухом грунте. Общий экономический эффект от внедрения предложения составляет 237 руб. и 0,2 чел.-ч на 1 м² полезной площади жилых зданий микрорайона (табл. 3).

По результатам исследований, экономический эффект от внедрения предложений по комплексному применению трубофильтров на 1-м этапе строительства микрорайона «Платоновский лес-3» составил: $9275055,3 - 3405471,6 = 5869583,7$ руб.

В целях сокращения как стоимости, так и трудозатрат на устройство колодцев было предложено кирпичную кладку горловин колодцев заменить доборными железобетонными кольцами. Для подземных прокладок тепловых сетей была применена бесканальная прокладка в асфальтокерамзитобетоне. Асфальтокерамзитобетонная (АКБ) изоляция является однослойной комплексной антикоррозионной и теплогидроизоляцией теплопроводов и представляет собой монолитный материал, полученный в результате остывания отформованной на трубах АКБ-массы горячего приготовления. АКБ-масса состоит из органического вяжущего (строительного битума марки БН-1У или тугоплавкого битума – рубракса), керамзитовых заполнителей, гравия и песка-наполнителя в виде золы ТЭЦ или других мелкодисперсных минеральных материалов.

Т а б л и ц а 3

Сравнительная стоимость устройства инженерной подготовки по старой и новой технологии

Вид работ	Стоимость работ	
	по старой технологии	по новой технологии
Устройство фекальной канализации	2249079,54	1200322,17
Устройство ливневой канализации:	2973630,33	1498715,37
№ 1	225807,87	–
№2	225807,87	–
№3	3156781,06	–
№5	295077,72	–
№6	295077,72	–
№7	328232,52	–
Водопонижение жилого дома:		–
№5	592523,64	–
№6	592523,64	–
№7	944793,39	–
Устройство дренажа по новой трассе	–	706434,06
Итого	9275055,3	3405471,6

АКБ-100 на битуме марки БН-1У применяется при расчетной температуре теплоносителя в тепловых сетях до 100 °С, АКБ-150 на рубраксе – при расчетной температуре теплоносителя до 150 °С. Минимальное заглубление верха изоляции трубопроводов от поверхности земли или дорожного покрытия (при наличии) – 0,5; при его отсутствии – 0,7 м.

Применение бесканальной прокладки тепловых сетей в асфальтокерамзитобетоне по сравнению с прокладкой в каналах привело к снижению стоимости строительства (табл. 4).

В условиях строительства жилого района «Платоновский лес» работы по укладке АКБ-массы непосредственно в траншею производились после выполнения следующих операций: зачистки дна траншеи, геодезической разбивки проектного положения труб, укладки под трубопроводы опорных брусков (размерами в соответствии с диаметром укладываемых трубопроводов), монтажа сваренных и предварительно испытанных на

бровке плетей труб на опорные бруски из АКБ-массы, установки металлической инвентарной опалубки, обеспечения рабочих механизмами, инструментом и приспособлениями.

Т а б л и ц а 4

Стоимость канальных и бесканальных типовых прокладок

Dy, мм	Стоимость прокладки 1 км трассы в каналах, руб.	Стоимость прокладки асфальтокерамзитобетона	Процент снижения стоимости
50	5101768	3042830	40
100	6388158	3765279	41
150	6971258	4639096	33,5
200	9009490	5799108	35,5
300	13669411	8549079	37,5
400	18625761	11999722	36
500	20588428	14334740	30,5

Земляные работы по отрывке траншей выполнялись одноковшовым экскаватором с обратной лопатой при вместимости ковша 0,40 м³ и бульдозером ДТ-54.

Монтаж трубопроводов проводился в траншее с последующей заливкой АКБ-массы. Во избежание образования тепловых и влажностных мостов трубопроводы, покрытые антикоррозионным защитным слоем, монтировались на подкладках, выполненных в виде брусков нужной высоты из асфальтокерамзитобетона, выложенных на подготовленное основание.

В специальных утепленных емкостях (контейнерах вместимостью 0,3 м³) АКБ-масса доставлялась на трассу. В зависимости от типа вяжущего (рубракс, БН-1У) температура доставляемой массы была 190–210 °С. Выполнение монтажных работ производилось трубоукладчиком ТЛ-4 на базе трактора С-80 грузоподъемностью 10 т. При помощи трубоукладчика ТЛ-4 контейнер с АКБ-массой доставлялся к месту укладки и выгружался в деревянную опалубку. Масса уплотнялась при помощи ручных трамбовок (металлических, деревянных), конструкции которых рекомендованы технологической картой на укладку АКБ-массы. Трамбовки металлические предварительно подогревались и смазывались соляровым маслом. Это предотвращало прилипание к ним смеси (рис. 4).

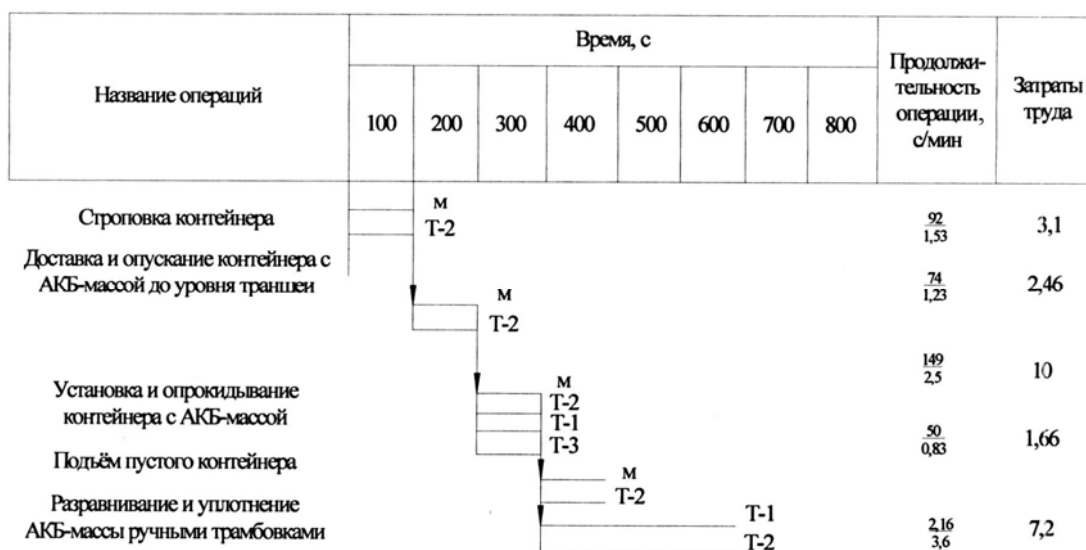


Рис. 4. Скорректированный график трудового процесса укладки АКБ-массы на трассе (ось движения трубоукладчика или крана совпадёт с осью установки прицепа с контейнерами)

В смену укладывается примерно 6 м³ АКБ-массы. При транспортировании ее малыми контейнерами происходит значительная потеря тепла, в силу чего АКБ-масса загустевает и становится иногда непригодной к укладке (особенно в холодное время года).

В целях повышения производительности труда, снижения стоимости строительства тепловых сетей с применением АКБ-изоляции, обеспечения безопасного ведения работ было признано необходимым соблюдение ряда дополнительных требований:

- доставку АКБ-массы производить в специальных емкостях большого объема, снабженных системой подогрева транспортируемой массы, что позволяет доставлять массу на значительные расстояния, требуемой температуры, удобоукладываемой;

- опалубка должна быть металлической, инвентарной, передвижной и, кроме того, термореактивной, что позволит более тщательно заполнять пазухи между трубопроводами и повышать подвижность АКБ-массы;

- для уплотнения уложенной АКБ-массы, повышения производительности труда рабочих и сокращения трудозатрат необходимо внедрение механизированных инструментов и приспособлений.

Таким образом, внедрение новых организационно-технологических решений позволяет эффективно вести работы по качественной инженерной подготовке строительных площадок, особенно устраиваемых в стесненных городских и затрудненных природно-климатических условиях.

Список литературы

1. Исследование теоретических, технологических и экономических проблем подземного строительства [Текст]: отчет о НИР (этап I) – Тула: ТулГУ, 2001. – 130 с.
2. Денисов, Г.А. Инновационная деятельность в строительном комплексе: организационно-экономический аспект [Текст] / Г.А. Денисов, М.И. Каменецкий // Экономика строительства. – 2007. – №7. – С.2–19.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Аверкин Александр Григорьевич,
кандидат технических наук,
профессор кафедры «Теплогасоснабжение
и вентиляция».
E-mail: algraw@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Averkin Alexander Grigorievich,
Candidate of Science.
Professor of the department «Heating,
Gas supply and Ventilation».
E-mail: algraw@mail.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНТАКТНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ЧИСЛА ЕДИНИЦ ПЕРЕНОСА

А.Г. Аверкин

Приведена усовершенствованная методика расчета контактных аппаратов для тепловлажностной обработки воздуха, основанная на определении необходимой поверхности для реализации как теплообменного, так и массообменного процесса при обработке воздуха водой. Необходимая поверхность тепломассопереноса рассчитывается с помощью числа единиц переноса. Данную характеристику предлагается определять методом графического интегрирования с применением *I-d*-диаграммы влажного воздуха.

Ключевые слова: тепловлажностная обработка воздуха, контактный аппарат, методика расчета, поверхность тепломассопереноса, равновесная температура воздуха, равновесное парциальное давление водяных паров, число единиц переноса.

METHOD OF CONTACT DEVICE FOR THERMAL AND AIR TREATMENT CALCULATION BASED ON THE NUMBER OF UNITS TRANSFER

A.G. Averkin

The article describes improved calculation methods of contact devices for heat and humidity air treatment. The method is based on determining the necessary surface for realization of heat and mass transfer process at air processing by water. The required surface of heat and mass distribution is calculated by a number of units transfer. This feature is proposed to determine by graphical integration method applying wet air *I-d*-chart.

Keywords: heat and humidity treatment of air, contact device, method of calculation, surface heat and mass transfer, the equilibrium temperature of air, the equilibrium partial pressure of water vapor, the number of transfer units.

В системах кондиционирования воздуха (СКВ) контактные аппараты применяют для реализации процессов тепловлажностной обработки воздуха. В них воздушный поток непосредственно контактирует с водой. Контакт обеспечивают путем распыления воды с помощью механических форсунок, применения орошаемой насадки (листовой, кольцевой и др.) и других способов. В результате воздух может или увлажняться и охлаждаться, или осушаться и охлаждаться.

Увлажнение воздуха в большинстве случаев осуществляется в адиабатических условиях с использованием рециркуляционной воды в контактном аппарате. В данных условиях температура воды соответствует температуре воздуха по мокрому термометру. В этом режиме контактный аппарат работает в холодный период года.

С целью охлаждения и осушения воздуха в теплый период года работа контактного аппарата переводится в политропический режим. В контактный аппарат направляют холодоноситель – воду, температура которой ниже температуры точки росы воздуха. Данную воду получают с помощью холодильной установки – чиллера.

При тепловлажностной обработке воздуха рабочие среды (воздух, вода) обмениваются как тепловой энергией, так и массой вещества – водой в виде водяного пара. При адиабатическом увлажнении воздух насыщается парами воды, образующимися при испарении воды, и охлаждается за счет отдачи тепла воде для ее испарения; при осушении воздушного потока водяные пары конденсируются, переходя из него в воду, температура воздуха понижается.

Таким образом, тепловлажностная обработка воздуха в контактном аппарате по физической сущности соответствует тепломассообменному процессу.

В настоящее время оценка работы контактных аппаратов и их теплотехнический расчет осуществляются с применением коэффициента эффективности и основываются на графическом построении процесса тепловлажностной обработки воздушного потока на I - d -диаграмме влажного воздуха (рис. 1).

Коэффициент эффективности характеризует отношение рабочего перепада температур охлаждения воздуха к теоретически возможному его значению [1].

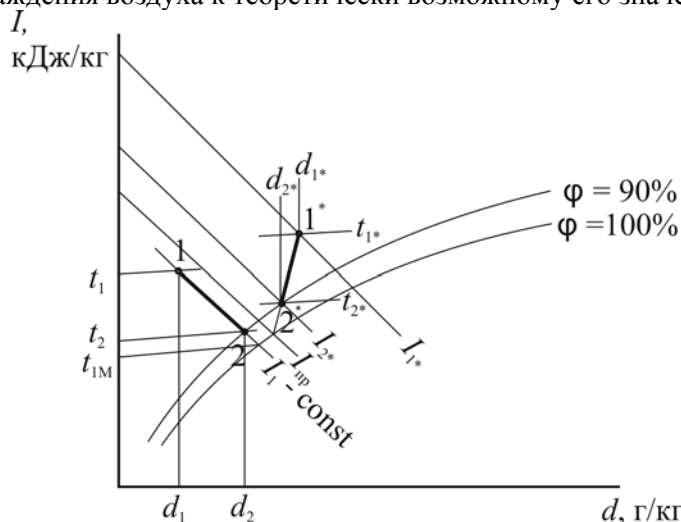


Рис. 1. Изображение процессов увлажнения и охлаждения, осушения и охлаждения воздушного потока на I - d -диаграмме влажного воздуха:
(1-2) – адиабатическое увлажнение и охлаждение воздуха;
(1* - 2*) – осушение и охлаждение воздуха в политропических условиях

Расчет коэффициентов (E_a , E_I) эффективности при тепловлажностной обработке воздуха осуществляют по уравнениям:

а) при адиабатическом увлажнении и охлаждении E_a составит:

$$E_a = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{1M}}, \quad (1)$$

где t_1 , t_2 , t_{1M} – соответственно температура воздуха на входе, выходе в контактном аппарате и температура воздуха по мокрому термометру на входе, °С (см. рис. 1);

б) в условиях политропического осушения и охлаждения E_I составит:

$$E_I = \frac{I_{1*} - I_{2*}}{I_{1*} - I_{пр}}, \quad (2)$$

где I_{1*} , I_{2*} , $I_{пр}$ – соответственно энтальпия воздуха на входе, выходе в контактном аппарате и предельная энтальпия воздуха, кДж/кг. Предельная энтальпия воздуха определяется на пересечении продолжения луча осушения воздуха с кривой $\phi = 100\%$ (см. рис. 1).

Фирмой-производителем типовых контактных аппаратов на основе экспериментальных исследований определяется зависимость коэффициента эффективности от коэффициента орошения (последний характеризует отношение расхода воды к расходу воздуха в контактном аппарате). Данная зависимость распространяется только на серию аппаратов, имеющих подобные конструктивные параметры. Эта информация в виде таблиц или графических зависимостей приводится в справочных пособиях и каталогах фирм-производителей [1]. Причем экспериментальные зависимости приводятся для различных режимов работы контактных аппаратов: при политропических, адиабатических условиях. Они являются, по-существу, паспортными данными оборудования. На их основе определяются конструктивные и режимные параметры контактных аппаратов (тип устройства, число форсунок, расход воды, давление воды перед форсунками, температура воды на входе, выходе из аппарата – для форсуночных камер; расход воды – для камер сотового увлажнения).

Приведенная выше информация свидетельствует о том, что применяемая в настоящее время методика расчета контактных материалов для тепловлажностной обработки воздуха базируется на лабораторных экспериментальных данных.

Наряду с применением коэффициента эффективности для оценки работы контактных аппаратов, в частности форсуночных камер, известен метод числа единиц переноса явной теплоты – n_t и полной теплоты – N_t . Он был предложен Е.В. Стефановым [2].

Метод числа единиц переноса широко применяется для расчетов процессов и аппаратов химической технологии как за рубежом [3], так в нашей стране [4], когда неизвестна истинная поверхность тепло- и массообмена. Напомним физический смысл числа единиц переноса: разность рабочих концентраций, приходящихся на единицу движущей силы процесса.

Известны следующие расчетные уравнения для чисел единиц переноса:

$$n_t = \frac{\alpha \cdot F_t}{c \cdot G} = \frac{t_1 - t_2}{\Delta t_p}; \quad (3)$$

$$N_t = \frac{\beta_c \cdot F_t}{G} = \frac{I_{1*} - I_{2*}}{\Delta I_p}. \quad (4)$$

Здесь α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); F – поверхность тепло- и массообмена, м²; G – расход воздуха, кг/с; c – теплоемкость влажного воздуха, Дж/(кг·К); t_1, t_2, I_{1*}, I_{2*} – то же, что в уравнениях (1), (2); Δt_p – средняя разность температур между воздухом и водой (движущая сила процесса), °С; ΔI_p – средняя разность энтальпий между воздухом и водой (движущая сила процесса), кДж/кг.

Уравнение (3) справедливо для теплообмена с изменением явной теплоты (работа контактного аппарата в режиме адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха), уравнение (4) – для режима политропического осушения и охлаждения воздуха. Выразим поверхность F из уравнений (3), (4) соответственно:

$$F_t = \frac{n_t \cdot c \cdot G}{\alpha} = \frac{G \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{\alpha \cdot \Delta t_p} = \frac{Q_t^{\text{хол}}}{\alpha \cdot \Delta t_p}; \quad (5)$$

$$F_t = \frac{N_t \cdot G}{\beta_c} = \frac{G(I_{1*} - I_{2*})}{\beta_c \cdot \Delta I_p} = \frac{Q_I^{\text{хол}}}{\beta \cdot \Delta I_p}. \quad (6)$$

Здесь $Q_t^{\text{хол}}$ – расход холода при адиабатическом охлаждении (увлажнении) воздуха, Вт; $Q_I^{\text{хол}}$ – расход холода при политропическом охлаждении воздуха, Вт.

В работе [5] предложено число единиц переноса n_t определять методом графического интегрирования [4] с применением I - d -диаграммы влажного воздуха.

Коэффициенты тепломассопереноса определяют при помощи критериальных уравнений. Некоторые критериальные уравнения для системы вода – воздух приведены в таблице.

Критериальные уравнения для расчета тепломассообмена
в процессе испарения воды с поверхности тел в поток воздуха

№ п/п	Автор, год опубликования	Вид критериального уравнения
1	Ю.Кришер	$Nu = 0,8 \cdot Re^{0,5}$
2	Д.Вырубов, 1969	$Nu = 2 + 0,03 \cdot Re^{0,54}$
3	А.Сокольский, Ф.Тимофеева	$Nu = 2 + 0,16 \cdot Re^{0,67}$
4	Польгаузен	$Nu = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33}$
5	Е.Джиллиленд, Т.Шервуд, 1934; с поправкой К.Беннетта, 1966	$Nu^I = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot (Pr^I)^{0,33}$
6	С.Ильина, 2009	$Nu = C^I \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,44}$
7	Н.Фреслинг, 1938; Р.Дрейк, 1961	$Nu = 2 + 0,45 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33}$
8	Б.Кацнельсон, Ф.Тимофеева, 1948	$Nu = 2 + 0,03 \cdot Re^{0,54} \cdot Pr^{0,33} + 0,35 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,356}$
9	С.Кутателадзе, 1957	$Nu = 2 + 0,03 \cdot Re^{0,54} \cdot Pr^{0,33} + 0,35 \cdot Re^{0,58} \cdot Pr^{0,56}$
10	В.Исаченко и др., 1961	$Nu = 4,55 \cdot 10^{-3} \cdot Re^{0,8} \cdot K^{0,4}$
11	А.Фокин, В.Муштаев, 1969	$Nu = A + B \cdot (Re \cdot Pr^{0,33})$
12	А.Нестеренко, 1954	$Nu = 2 + 1,05 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175}$ $Nu^I = 2 + 0,85 Re^{0,52} (Pr^I)^{0,33} Gu^{0,135}$

На основе анализа и обобщения литературных данных [1–5] предлагается следующий порядок теплотехнического расчета контактных аппаратов для СКВ.

1. Задаются исходные данные тепловлажностной обработки воздуха (см. рис. 1):

а) для адиабатического увлажнения (охлаждения) воздуха – G, t_1, I_1, t_2 ;

б) для осушения и охлаждения воздуха в политропических условиях – $G, I_1^*, I_2^*, t_1^*, t_2^*$.

2. Производят построение лучей процесса тепловлажностной обработки воздуха на $I-d$ -диаграмме в соответствии с п.1а, 1б. На их основе определяют равновесные значения температуры и энтальпии (рис. 2).

3. Определяют число единиц переноса n_t (N_t) на основе метода графического интегрирования.

В соответствии с рекомендациями [5] на основе рис. 2 осуществляют построение графических зависимостей, их общий вид приведен на рис. 3.

Расчет числа единиц переноса производится по формулам:

$$n_t = \int_{t_2}^{t_1} \frac{dt}{t - t^*} = f \cdot m_1 \cdot m_2 ; \quad (7)$$

$$N_t = \int_{I_1^*}^{I_2^*} \frac{dI}{I - I^*} = F \cdot M_1 \cdot M_2 , \quad (8)$$

где t, I – текущие (рабочие) значения температуры и энтальпии воздуха при тепловлажностной обработке соответственно, °С, кДж/кг; t^*, I^* – равновесные значения температуры и энтальпии воздуха при тепловлажностной обработке соответ-

ственно, °С, кДж/кг; f , F – площадь криволинейной трапеции в квадратных единицах выбранного масштаба (см. рис. 3); m_1 , m_2 , M_1 , M_2 – масштаб откладываемых величин по оси абсцисс и ординат.

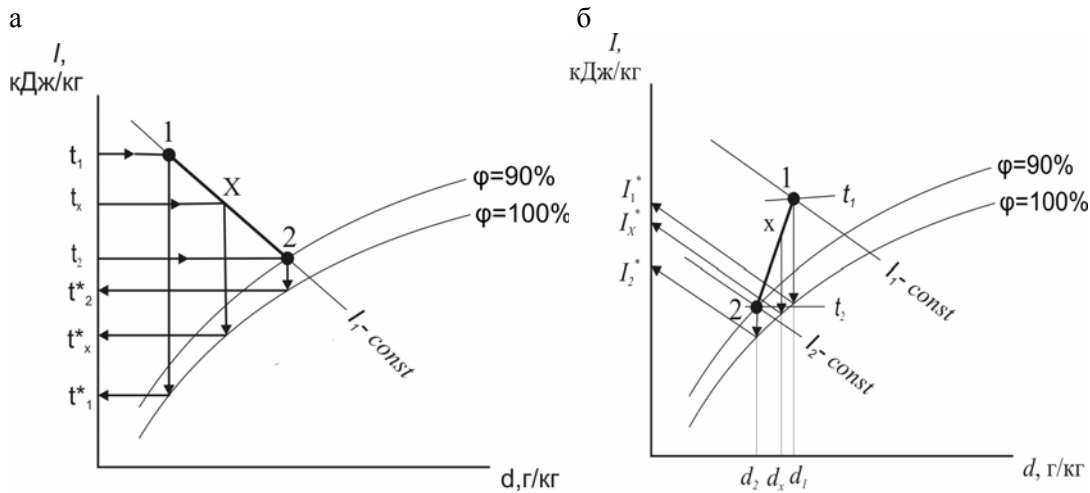


Рис. 2. Определение равновесных значений температуры (t^*) и равновесных значений энтальпии воздуха (I^*):
 а – адиабатическое увлажнение и охлаждение воздуха;
 б – осушение и охлаждение воздуха в политропических условиях

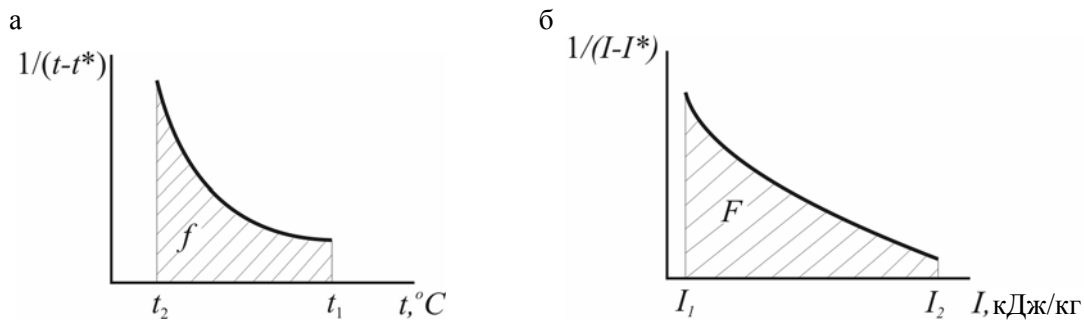


Рис. 3. Графические зависимости к определению числа единиц переноса:
 а – для режима адиабатического увлажнения (охлаждения) воздуха;
 б – для осушения и охлаждения воздуха в политропических условиях

4. Определяют кинетические коэффициенты теплопереноса на основе тепловых и диффузионных критериев подобия (см. таблицу).

Коэффициент теплоотдачи определяют по формуле

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{l}, \tag{9}$$

здесь Nu – критерий Нуссельта для теплового процесса; λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(мК); l – определяющий геометрический размер, м.

Коэффициент массоотдачи вычисляют по уравнению

$$\beta = Nu' \frac{D}{l}. \tag{10}$$

Здесь Nu' – диффузионный критерий Нуссельта; D – коэффициент диффузии водяного пара в воздухе, м²/с [3,4].

5. Определяют требуемую поверхность теплообмена в контактном аппарате для реализации тепловлажностного процесса обработки воздуха в соответствии с исходными данными (п.1) по уравнениям (5), (6).

Представленная методика позволяет также вычислить требуемую поверхность массообмена при тепловлажностной обработке воздуха.

Как известно [2], движущей силой процессов увлажнения, осушения воздуха водой является разность парциальных давлений водяного пара у поверхности воды и в воздушном потоке.

Для определения равновесных парциальных давлений водяного пара при увлажнении и осушении воздуха в соответствии с п. 2 выполняют графические построения на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха (рис. 4).

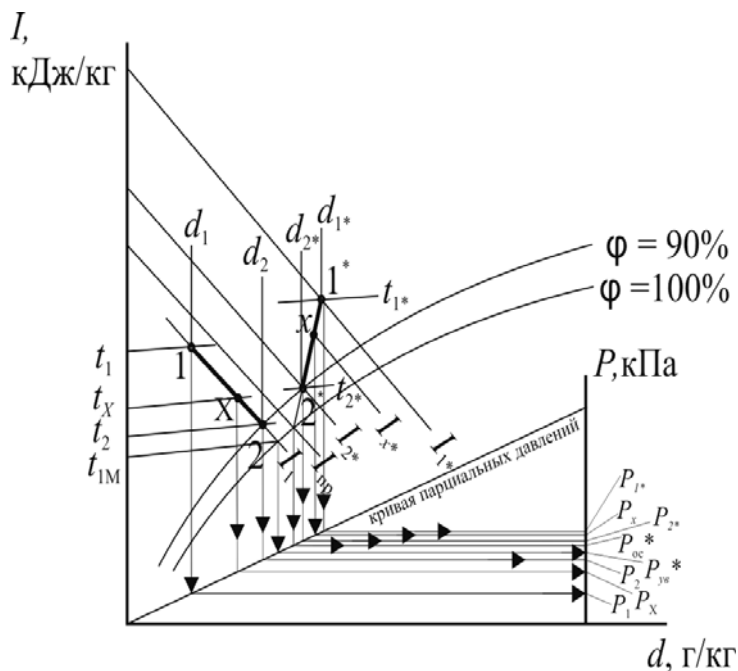


Рис.4. Графические построения для определения рабочих и парциальных давлений водяного пара в режиме адиабатического увлажнения (луч 1–2) и политропического осушения воздуха (луч 1*–2*) в контактном аппарате

На рис. 4 приняты следующие обозначения: P_1, P_2, P_x – рабочие парциальные давления водяного пара в режиме адиабатического увлажнения воздуха; $P_{ув}^*$ – равновесное парциальное давление водяного пара в режиме адиабатического увлажнения воздуха; P_1^*, P_2^*, P_x – рабочие парциальные давления водяного пара в режиме политропического осушения воздуха; $P_{ос}^*$ – равновесное парциальное давление водяного пара при осушении воздуха.

На основе данных, представленных на рис.4, строят графические зависимости $\frac{1}{P - P^*} = f(P)$ для рассматриваемых режимов тепловлажностной обработки воздуха (типовые построения для теплообмена приведены на рис.3). Графические зависимости используют для расчета числа единиц переноса при массообмене. Расчеты производят по формулам:

а) для адиабатического увлажнения воздуха

$$n_p = \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P_{ув}^* - P}; \tag{11}$$

б) для политропического осушения воздуха

$$N_p = \int_{P_1^*}^{P_2^*} \frac{dP}{P - P_{ос}^*}. \tag{12}$$

Требуемую поверхность для реализации массообмена определяют по уравнениям:

а) адиабатическое увлажнение воздуха

$$F_{ув} = \frac{n_p \cdot G}{\beta_c}; \quad (13)$$

б) политропическое осушение воздуха

$$F_{ос} = \frac{N_p \cdot G}{\beta_c}. \quad (14)$$

Заключительным этапом расчета контактного аппарата является сравнение требуемых поверхностей теплообмена (п.5) и массообмена. В качестве расчетной величины – поверхности тепломассопереноса – принимается большее численное значение.

Расход воды W определяют по уравнению

$$W = \mu \cdot G, \quad (15)$$

где μ – коэффициент орошения ($\mu = 0,5 \dots 1,0$; рекомендуется меньшие значения принимать для адиабатического увлажнения (охлаждения) воздуха, большие значения – для политропических процессов осушения и охлаждения воздуха).

В результате исследования сделаны выводы.

На основе анализа методов расчета контактных аппаратов в смежных областях техники (в строительстве – при создании микроклимата в помещениях, а также в отраслях химической промышленности) разработана усовершенствованная методика определения поверхности тепломассопереноса при адиабатическом увлажнении и политропическом осушении воздуха в типовых аппаратах СКВ. Она основана на применении числа единиц переноса, которые определяют методом графического интегрирования. Необходимые графические построения и расчеты предлагается производить на основе $I-d$ -диаграммы влажного воздуха.

Методика позволяет отдельно определять и сравнивать требуемые поверхности для реализации теплообмена и массообмена при тепловлажностной обработке воздуха в контактных аппаратах.

Список литературы

1. Кокорин, О.Я. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст] / О.Я. Кокорин. – М.: ВЕЗА, 2005. – 97 с.
2. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст] / Е.В. Стефанов. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2005. – 400 с.
3. Кейс, В.И. Компактные теплообменники [Текст]: пер. с англ. / В.И. Кейс, А.Л. Лондон. – М.: Энергия, 1967. – 222 с.
4. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
5. Аверкин, А.Г. Определение поверхности тепломассопереноса в контактном аппарате при обработке воздуха водой [Текст] / А.Г. Аверкин // Вестник Волгоградского ГАСУ. – 2010. – Вып. 17 (36). – С. 114–118.

УДК 696.43

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я
Красноармейская, д.4
тел.: (812) 575-05-34, факс: (812) 316-58-72

Бирюзова Елена Александровна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогазоснабжение и охрана
воздушного бассейна».
Адрес: 195257, г. Санкт-Петербург,
пр. Науки, д.8, к. 3, кв. 82.
Тел.: +79043385743.
E-mail: biryuzova@rambler.ru

Образцов Ярослав Александрович,
студент 5 курса, группы 2-Т-5, факультета
«Инженерно-экологические системы».
Тел.: +79602524760.
E-mail: Slava-1 a@vandex.ru

St. Petersburg State University of Architecture
and Construction
Russia, 190005, St. Petersburg, 4,
2-ya Krasnoarmeiskaya St.
tel.: (812) 575-05-34, fax: (812) 316-58-72

Biryuzova Elena Alexandrovna,
Candidate of Science,
Associate Professor of the department «Heat
Gas Supply Basin»
Address: 195257, St. Petersburg, 8, avenue
Science, housing 3, ap. 82.
Tel.: +79043385743.
E-mail: biryuzova@rambler.ru

Obrazcov Yroslav Alexandrovich,
Student gr. 2-T-5, 5 course, Faculty of
«Engineering and Environmental Systems»
Tel.: 89061633200
E-mail: Slava-1 a@vandex.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПУТЕМ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Е.А. Бирюзова, Я.А. Образцов

Приведены результаты исследований состояния тепломеханического оборудования и пропускной способности участка тепловой сети в Калининском районе г. Санкт-Петербурга. Полученные данные использованы в проекте комплексной реконструкции участка, что позволило повысить надежность и энергоэффективность тепловой сети района.

Ключевые слова: повышение энергоэффективности, реконструкция тепловой сети, механическое оборудование, теплоизоляционные материалы.

SOLVING THE PROBLEMS OF ENERGY EFFICIENCY BY RECONSTRUCTION OF HEAT NETWORK IN ST. PETERSBURG

Е.А. Biryuzova, Y.A. Obrazcov

The research results of heat mechanic equipment state and full-capacity of a heat network in Kalinin region, St.Petersburg are given. The received data have been used in the project of complex network reconstruction and it has allowed to raise reliability and efficiency of the region heat-network.

Keywords: improved energy efficiency, reconstruction of heating network, mechanical equipment, insulation materials.

В Санкт-Петербурге в настоящий момент износ тепловых сетей и сопутствующих инженерных сооружений превышает все допустимые нормы. Это становится причиной участвовавших утечек и аварий, массовых отключений теплоснабжения жилых и общественных зданий.

Поэтому реконструкция морально и физически устаревшей тепловой сети, а именно: коренное изменение системы теплоснабжения, которая безотлагательно требует повышения эффективности и надежности, экологической безопасности всех без исключения составляющих, включая внедрение энергоэффективных и энергосберегающих решений на стадии транспортировки и потребления теплоты, а также в рамках реализации Федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в

отдельные законодательные акты Российской Федерации», в настоящее время является актуальной задачей

Авторами исследовательской работы проведен анализ эффективности поэтапной и комплексной реконструкции тепловой сети, в результате которого был выбран вариант комплексной реконструкции «Реконструкция тепловой сети т/м по кв. 17 Гражданки от ТК-1 Кар (1) у пр. Науки до ТК-5 без пересечения Северного пр.», который предусматривает:

- полную замену всей сети указанного района с применением новых труб для снижения гидравлических потерь;
- применение современного механического оборудования тепловой сети (сильфонных компенсаторов температурных удлинений, задвижек, опор) для повышения механической надежности тепловой сети и срока эксплуатации;
- применение современных теплоизоляционных материалов для снижения потерь теплоты в окружающую среду и значительного повышения энергоэффективности тепловой сети;
- применение современных средств антикоррозионной защиты и диагностики состояния металлического трубопровода.

Необходимость проведения работ по реконструкции тепловой сети была определена в ходе выполнения исследований:

- состояния тепломеханического оборудования тепловой сети и тепловых камер;
- пропускной способности тепловой сети.

Были исследованы следующие показатели:

- прочность металлической трубы теплотрассы;
- степень изношенности тепловой сети (трубопровода и тепловой изоляции – в зимний период);
- степень заиливания тепловых камер;
- степень затопления водой оборудования тепловых камер и дренажной системы;
- число аварий в год;
- пропускная способность тепловой сети с учетом перспективной застройки;
- температурные и гидравлические режимы работы тепловой сети;
- нагрузки и напряжения, действующие на неподвижные опоры.

Проведен сравнительный анализ современных теплоизоляционных материалов, пригодных для применения в данном проекте с целью выбора оптимального варианта.

Были собраны исходные данные для проектирования:

1. Теплоноситель – теплофикационная вода.
2. Температура теплоносителя – $T_1=150\text{ }^\circ\text{C}$, $T_2=70\text{ }^\circ\text{C}$.
3. Расчетное давление теплоносителя – 16 кг/см^2 .
4. Диаметры и протяжённость трассы:
 - $D_y=500\text{ мм}$, $L=779,0\text{ м}$;
 - $D_y=200\text{ мм}$, $L=18,0\text{ м}$.
5. Типы прокладок:
 - подземная бесканальная;
 - подземная в канале;
 - подземная в футляре.
6. Расчетная температура наружного воздуха – минус $26\text{ }^\circ\text{C}$.
7. Источник теплоснабжения – Пискаревская котельная.
8. Система высот – Балтийская.

Натурные исследования проводились непосредственно на объекте проектирования в зимний (рис. 1, 2) и летний (рис. 3, 4) периоды визуально и с помощью приборов контроля температуры поверхности теплоизоляционной конструкции тепловой сети. Анализ состояния тепломеханического оборудования тепловой сети подтвержден фотоматериалами (см. рис. 1, 2, 3, 4).

Гидравлические характеристики тепловой сети определялись аналитическим путем, с использованием утвержденных методик.



Рис. 1. Обследуемая тепловая сеть, оборудование (потери тепла)



Рис. 2. Обследуемая тепловая сеть (утечки тепла по длине).
Обследование проведено в зимний период



Рис. 3. Тепловая камера (внешний вид оборудования)



Рис. 4. Тепловая камера (затопленная)

Технологическая схема тепловой сети проверена на прочность согласно СТО РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА 10.001–2009 с помощью программы «Старт-Проф» ООО «Научно-техническое предприятие «Трубопровод» с учетом всех нагружающих факторов и компенсации тепловых удлинений.

Характеристики механического оборудования, устанавливаемого на проектируемом участке тепловой сети, были получены аналитическим путем по стандартным методикам и подтверждены путем расчета с применением компьютерной программы «Старт-Проф».

Наиболее эффективный вид тепловой изоляции определялся путем сравнительного анализа теплотехнических свойств и экономической эффективности широкого спектра современных теплоизоляционных материалов.

Были проведены расчеты теплового потока с единицы площади изолируемой поверхности для выбранного вида тепловой изоляции, используемой ранее.

Расчетный срок службы предварительно изолированных в заводских условиях новых стальных труб и фасонных элементов составляет не менее 30 лет при условии обеспечения высокого качества их монтажа, а также при содержании хлоридов в сетевой воде до 250 мг/л, что обеспечивает долговечность реконструируемой тепловой сети.

Для предотвращения затопления и заиливания тепловых камер предусмотрена система дренажа дна канала, которая выполняется на основе чугунной трубы D_y 100 мм в колодец с уклоном в сторону колодца.

Кроме того, предусмотрена изоляция арматуры в тепловых камерах основных трубопроводов для спуска воды, выпуска воздуха в соответствии с указаниями по монтажным работам (нанесение грунта-адгезива «Вектор-1025», напыление ППУ, нанесение гидроизоляционного покрытия ПФ-115).

С целью повышения надежности работы тепловой сети и антикоррозионной защиты разработана система оперативного дистанционного контроля (ОДК) с приведением схемы и мест установки терминалов.

Для пассивной защиты трубопроводов теплосети от электрохимической коррозии предусматривается установка электроизолирующих подвижных и неподвижных опор.

Система ОДК включает в себя:

– медные проводники-индикаторы в теплоизоляционном слое трубопроводов, проходящие по всей длине теплопроводов: основной сигнальный проводник и транзитный проводник;

- кабели для соединения проводников-индикаторов, проложенных в изоляции с терминалами в точках контроля;
- соединительные кабели в точках контроля, присоединяющиеся к сигнальным проводникам при помощи согласующих устройств через герметичные кабельные выводы;
- переносной детектор повреждений;
- локатор повреждений.

Проводники-индикаторы должны изготавливаться из медной проволоки сечением $1,5 \text{ мм}^2$ (марка ММ 1,5). Сопротивление сигнальных проводников трубопровода должно быть в пределах $0,012\text{--}0,015 \text{ Ом/м}$, сопротивление тепловой изоляции из пенополиуретана – 1 мОм на 300 м длины теплопровода.

Схема крепления системы ОДК к трубе приведена на рис. 5.

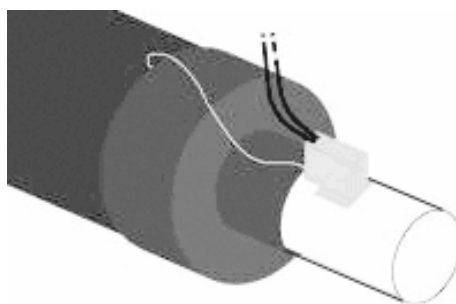


Рис. 5. Схема крепления системы к трубе

Принцип работы системы ОДК типа «Nordik» – отражение импульса. Он заключается в обнаружении неоднородности волнового сопротивления контрольных проводников. Неоднородность возникает при увлажнении теплоизоляции или обрыве сигнального провода. Даже малейшее увлажнение теплоизоляции ведет к резкому падению сопротивления и требует оперативного вмешательства с целью предотвращения распространения влаги по теплоизоляционному слою.

Полученные результаты подтвердили правильность выбранного метода повышения энергоэффективности и в целом энергосбережения.

Все проектные и исследовательские решения были выполнены с соблюдением требований действующих федеральных законов, правил безопасности, строительных норм и правил.

В ходе работы получены следующие результаты:

1. Подготовлен проект реконструкции тепловой сети, проложенной по кварталу 17 Гражданки от ТК-1 Кар (1) у пр. Науки до ТК-5 без пересечения Северного проспекта.
2. Использован разработанный материал в ходе рабочего проектирования.
3. Появилась возможность использования разработанных узлов как типовых для аналогичных проектных решений.
4. Решена задача по энергосбережению на исследуемом участке тепловой сети (за счет уменьшения потерь тепла в окружающую среду).
5. Повысилась надежность и продолжительность работы тепловой сети Калининского района г. Санкт-Петербурга.
6. Снизилось число аварийных ситуаций.

Результаты, полученные в ходе выполнения исследовательской работы, были рекомендованы к внедрению в проектных институтах и организациях, осуществляющих проектные и строительно-монтажные работы систем теплоснабжения.

Материалы НИР использованы в рабочем проекте «Реконструкция магистральной тепловой сети по кв.17 Гражданки от ТК-1 Кар. (1) у пр. Науки до ТК-1 Сев. (3) у Северного пр. с пересечением Северного пр.», разрабатываемом на основании задания на проектирование Предприятия ГУП «ТЭК СПб» по государственному контракту № 2/36-09 от 03.06.2009 г., что подтверждено актом о внедрении.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 721, 004.922, 004.946, 004.434

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Осокина Людмила Ивановна,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Дизайн костюма».
Тел.: (8412)49-59-29
E-mail: lios3@mail.ru

Смирнов Владимир Алексеевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Математика и
математическое моделирование»
Тел.: (8412)42-33-75
E-mail: kkatarn@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Osokina Ludmila Ivanovna,
Candidate of Science, Associate Professor,
Head of the department «Costume design»
Tel.: (8412)49-59-29
E-mail: lios3@mail.ru

Smirnov Vladimir Alexeevich,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Mathematics and
mathematical modeling»
Tel.: (8412)42-33-75
E-mail: kkatarn@rambler.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ПРОЕКЦИИ В РАМКАХ ГРАФИЧЕСКОГО КОНВЕЙЕРА OPENGL: ПРИЛОЖЕНИЯ В АРХИТЕКТУРНОЙ ПРАКТИКЕ

Л.И. Осокина, В.А. Смирнов

Предлагается алгоритм нелинейной перцептивной проекции, интегрированной с графическим конвейером OpenGL. Выполняется реализация алгоритма на проблемно-ориентированном языке GLSL.

Ключевые слова: нелинейная проекция, OpenGL, GLSL.

IMPLEMENTATION OF NONLINEAR PROJECTION WITHIN THE OPENGL PIPELINE: ARCHITECTURAL APPLICATIONS

L.I. Osokina, V.A. Smirnov

The algorithm for nonlinear perceptive projection within the OpenGL pipeline is offered. The implementation of proposed algorithm in problem-oriented GLSL language is carried out.

Keywords: nonlinear projection, OpenGL, GLSL.

Практические потребности графического отображения информации в архитектурной практике диктуют необходимость создания новых и совершенствования существующих методов получения изображений. Конечной целью является представление наблюдателю совокупности визуальных сведений, способствующих лучшему пониманию рассматриваемой сцены.

Визуальные сведения подчиняются законам зрительного восприятия, выражающим особенности функционирования зрительного аппарата и особенности обработки

зрительной информации. Важнейшей чертой зрительного восприятия является *нелинейность перспективы*. Соответствующая перспективная проекция носит название *перцептивной* [1]. Нелинейность перцептивной перспективы отличает её от линейной проекции фотографии, телевидения и кинематографа. *Использование нелинейной перцептивной проекции в архитектурной и градостроительной практике способствует правдоподобной передаче формы и пропорций построек*, соответствующей замыслу архитектора и восприятию композиции. В дорожной практике использование перцептивной перспективы повышает реалистичность обзора трассы и способствует снижению количества аварий, поэтому *нелинейные схемы проекции актуальны при проектировании тренажёров и систем виртуальной реальности*.

Реализация программных средств машинной графики невозможна без использования стандартов, определяющих интерфейсы прикладного программирования, предназначенные для отображения двумерных и трехмерных изображений. Важнейшим из них является OpenGL – *независимый от платформы и языка программирования стандарт, определяющий низкоуровневый процедурный интерфейс отображения графики* [2].

Независимость от платформы дает возможность использовать OpenGL как программный интерфейс к графическому оборудованию. Прикладные программы, отображающие сцены посредством вызовов OpenGL, исполняются как центральным процессором, так и специализированными геометрическими процессорами, входящими в состав графического оборудования. Как следствие, существенно увеличивается скорость отображения. Для приложений реального времени возрастает допустимая сложность детализации сцены и становятся доступны сравнительно ресурсоёмкие методы освещения.

Линейная перспектива стандарта OpenGL. Первоначальные версии (до 1.5 включительно) стандарта OpenGL представляли процесс преобразования исходных графических данных в виде *графического конвейера с фиксированной функциональностью*. Прикладная программа, взаимодействующая с графическим оборудованием через интерфейс OpenGL, производит платформенно-зависимые подготовительные операции по подготовке буфера кадра – области, в которой формируется растровое представление сцены. Для формирования изображения в буфере кадра приложение перечисляет базовые примитивы, предваряя очередную спецификацию вершины примитива набором атрибутов (цвет, вектор нормали, координаты текстуры и т.п.), действующим в контексте текущего состояния. Последний включает параметры освещения, параметры текстурирования и т.д. [2–4]. Фактически большая часть вызовов OpenGL предназначена для спецификации атрибутов вершины и модификации состояния на различных этапах графического конвейера.

Координаты очередной вершины графического примитива в OpenGL подвергаются двум геометрическим преобразованиям – видовому и перспективному. Оба преобразования представлены как умножения вектора однородных координат вершины на соответствующие матрицы четвёртого порядка – видовую (*model view matrix*) и матрицу проекции (*projection matrix*), за которыми следует операция перспективного деления. Умножение матрицы на вектор – линейная операция. Как следствие, в *рамках конвейера OpenGL с фиксированной функциональностью реализация нелинейных схем нелинейной проекции невозможна*.

Предпосылки реализации нелинейной проекции. Переход от парадигмы конвейера с фиксированной функциональностью к парадигме программируемого графического конвейера выполнен в версии 2.0 стандарта OpenGL [4]. Приложение, использующее OpenGL версии 2.0 и выше, имеет возможность детального описания:

- последовательности геометрических преобразований, которым подвергается каждая вершина исходного массива;
- последовательности преобразований, формирующих цвет минимального растрового элемента (фрагмента, *fragment*).

Как первое, так и второе описание передаётся от приложения к OpenGL в виде программ на проблемно-ориентированном языке высокого уровня – *вершинного шейдера (vertex shader) и фрагментного шейдера (fragment shader)*. Соответствующий

язык – шейдерный язык *OpenGL* (OpenGL shading language, GLSL) – также определён стандартом [5].

Реализация нелинейной проекции. Исходным пунктом реализации перцептивной проекции является эмпирическая зависимость, связывающая истинное расстояние r_t от наблюдателя до объекта и физиологически воспринимаемое расстояние r_p (см. таблицу) [1].

Зависимость воспринимаемого расстояния от истинного

r_t , м	1	3	10	30	100	300	1000	3000	10000
r_p , м	1	2,9	9	28	68	176	500	1200	3000

Нелинейная проекция может быть реализована посредством сдвига точки зрения по оси глубины при неподвижных координатах вершин объекта [7]. Очевидно, что подобный подход равносителен коррекции глубины вершин проецируемого объекта при неподвижном центре проекции (коррекция выполняется после видового преобразования, до перспективного деления). С точки зрения удобства программной реализации последний подход предпочтительнее.

Реализация коррекции координат включает интерполяцию данных таблицы. Способ интерполяции должен выбираться исходя из двух требований:

1) вычислительная эффективность: интерполяционная схема должна быть по возможности простой;

2) интерполирующая функция должна иметь непрерывные производные, причём среди всех возможных функций предпочтение следует отдать той, которая на всём диапазоне расстояний имеет меньшую кривизну.

Два данных требования во многом являются взаимоисключающими. Исходя из второго, предпочтение можно отдать кубической сплайновой интерполяции. Однако входной массив координат после видового преобразования не отсортирован по глубине, и кусочно-полиномиальная интерполяционная схема для таблицы и полинома третьей степени требует восьми условных операторов, трех сложений и двух умножений (вычисление полинома по схеме Горнера). Такая схема *не является оптимальной с точки зрения вычислительной эффективности.*

Для выбора интерполяционной схемы обратимся к зависимости воспринимаемого расстояния от истинного в логарифмических координатах (рис. 1).

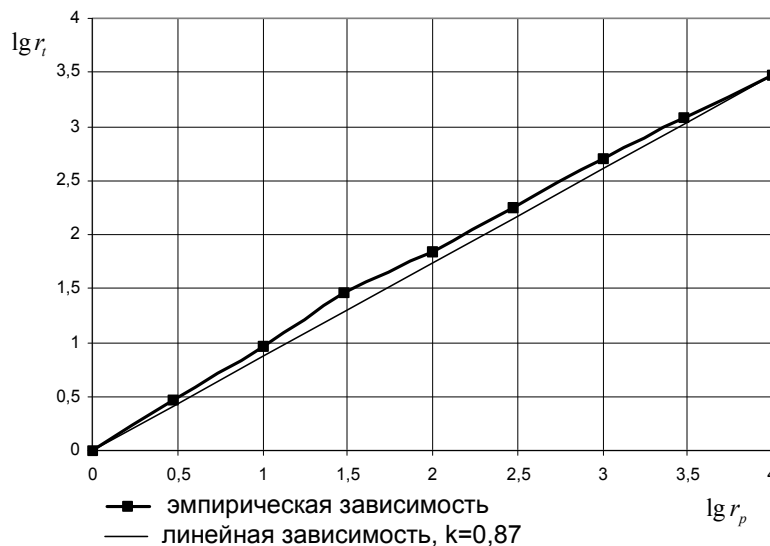


Рис. 1. Зависимость воспринимаемого расстояния от истинного в логарифмических координатах

Как видим, на всём диапазоне расстояний данная зависимость близка к линейной с угловым коэффициентом

$$k = \frac{\lg 3000}{\lg 10000} \approx 0,87.$$

Поэтому интерполяцию можно заменить на аппроксимацию степенной функцией

$$r_p = r_t^{0,87}. \tag{1}$$

Улучшить аппроксимацию можно коррекцией показателя степени для расстояний $r_t \leq 100$ м, $r_t \in [100;1000]$ м и $r_t \in [1000;10000]$. На указанных отрезках предпочтительно принять:

$$k_1 = 1 - 0,042 \lg r_t,$$

$$k_2 = 0,948 - 0,016 \lg r_t,$$

$$k_3 = 0,99 - 0,03 \lg r_t$$

соответственно. Подобный выбор сохраняет непрерывность первой производной. Результат аппроксимации в соответствии с предложенным алгоритмом для расстояний $r_t \leq 100$ и $r_t \in [1;10000]$ приведён на рис. 2 и 3.

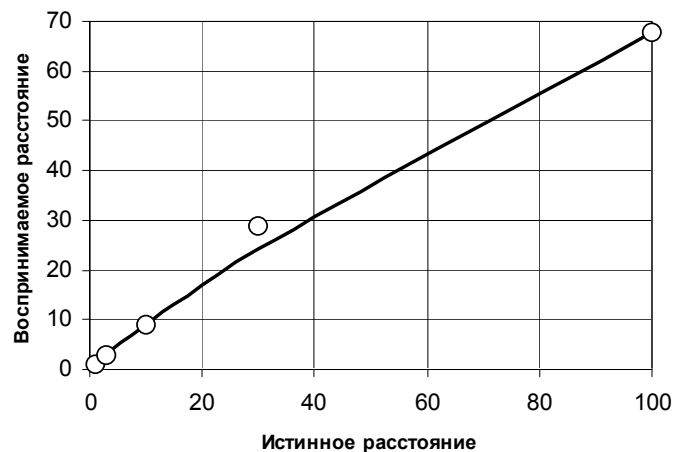


Рис. 2. Аппроксимация зависимости $r_p(r_t)$ для $r_t \leq 100$ м

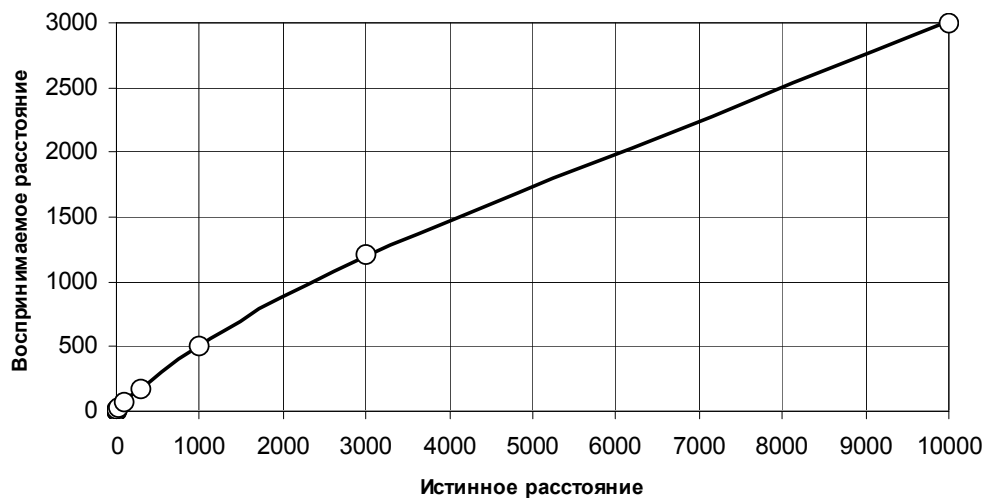


Рис. 3. Аппроксимация зависимости $r_p(r_t)$ для $r_t \in [1;10000]$ м

Исходный текст вершинного шейдера, реализующего нелинейную перспективу, приведен ниже.

```
void main(void)
{
    float z, lz, p;
    /* видовое преобразование */
    vec4 ecPosition4 = gl_ModelViewMatrix * gl_Vertex;
    z = - ecPosition4.z;
    if(z > 1.0)
    {
        lz = log(z) / log(10.0);
        /* коррекция показателя степени */
        if(lz <= 2.0)
            p = 1.0 - 0.072 * lz;
        else if(lz <= 3.0)
            p = 0.948 - 0.016 * lz;
        else if(lz <= 4.0)
            p = 0.99 - 0.03 * lz;
        else
            p = 0.87;
        /* коррекция глубины */
        ecPosition4.z = - pow(z, p);
    }
    /* подготовка к перспективному делению */
    gl_Position = gl_ProjectionMatrix * ecPosition4;
}
```

Использованная схема требует трёх условных операторов, двух умножений и двух вычислений трансцендентных функций для каждой вершины геометрического примитива. Возможность интерактивной работы сохраняется для сцен, содержащих $\sim 10^7$ вершин.

В рамках графического конвейера с программируемой функциональностью выполнена реализация нелинейной перспективы. Схема реализована в виде микропрограммы, исполняемой геометрическим процессором. Использование предложенной схемы в архитектурной и градостроительной практике повышает реалистичность обзора и правдоподобность передачи форм и пропорций проектируемых объектов.

Список литературы

1. Осокина, Л.И. Нелинейная перспектива как теоретическая база получения перцептивных изображений [Текст] / Л.И. Осокина. – Пенза: ПГУАС, 2007. – 96 с.
2. Спецификации OpenGL [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.opengl.org/documentation/specs> (дата обращения: 01.11.2001)
3. M. Segal, K. Akeley. The OpenGL Graphics System: A Specification (Version 1.5) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.opengl.org/documentation/specs/glspec15.pdf> (дата обращения: 01.11.2001)
4. M. Segal, K. Akeley. The OpenGL Graphics System: A Specification (Version 2.0) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.opengl.org/documentation/specs/glspec20.pdf> (дата обращения: 01.11.2001)
5. J. Kessenich, D. Baldwin, R. Rost. The OpenGL Shading Language [Электронный ресурс]. URL: – <http://www.opengl.org/registry/doc/GLSLangSpec.Full.1.10.59.pdf> (дата обращения: 01.11.2001)
6. R. Rost. OpenGL shading language. – NJ : Addison Wesley, 2010. – 379 p.
7. Ковалёв, А.М. Оценка искажений предметов при отображении перцептивного пространства на картинную плоскость [Текст] / А.М. Ковалёв // Автометрия. – Новосибирск, 2004. – №6. – Т.40. – С. 87–100.

УДК 72.01, 72.012

Московский государственный университет
по землеустройству

Россия, 105064, г. Москва, К-64,
ул. Казакова, д. 15,
тел.: (499) 261-31-46; факс: (499) 261-95-45
E-mail: Info@guz.ru

Панчева Алена Владимировна,
аспирант кафедры «Архитектура»
Тел.: 88415652486

Moscow State University Land use planning

Russia, 105064, Moscow, 15, Kazakova St.,
tel.: (499) 261-31-46; fax: (499) 261-95-45
E-mail: Info@guz.ru

Pancheva Alena Vladimirovna,
Postgraduate of the department
«Architectural»
Tel.: 88415652486

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО АРХИТЕКТУРНО- ТИПОЛОГИЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ ДЕТСКИХ САДОВ И НАЧАЛЬНЫХ ШКОЛ С УЧЕТОМ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

А.В. Панчева

Предложены новые архитектурные типы зданий детских садов и начальных школ, способные воспринимать переменные нагрузки численности детей. Спроектированы 2 типа зданий: здание-стабилизатор вместимостью 240 детей и многофункциональный комплекс вместимостью 480 детей.

Определены группы помещений, рекомендуемые для использования при проектировании современных зданий детских садов и начальных школ, а также блок-секций детских школ искусств, способных трансформироваться в детские дошкольные учреждения и начальные школы.

Ключевые слова: архитектурно-типологические решения детских дошкольных учреждений, начальные школы, демографические колебания.

OFFERS ON ARCHITECTURE-TYOLOGICAL DECISIONS OF KINDERGARTENS AND ELEMENTARY SCHOOLS WITH THE ACCOUNT OF DEMOGRAPHIC FLUCTUATIONS

A.V. Pancheva

This article shows new types of buildings capable to perceive variable loadings. The project of 2 types of buildings is designed (a building-stabilizer for 240 places and a multipurpose complex for 480 places).

The article shows some groups of houses which are recommended for modern kindergartens and elementary schools, and block sections for children schools of arts which can be transformed into kindergartens and elementary schools.

Keywords: architecture-typological decisions of kindergartens, elementary schools, demographic fluctuations.

На сегодняшний день как в целом для Российской Федерации, так и для г. Пензы, стоит проблема недостаточного обеспечения детей дошкольного возраста (с 2 месяцев до 7 лет) и младшего школьного возраста (с 7 до 10 лет) качественными зданиями для дошкольного воспитания и начального образования. Предпосылками для существующей проблемы явился ряд негативных явлений в жизни общества последних десятилетий (1990–2010 гг.):

1. Сокращение численности детских дошкольных учреждений и начальных школ как по России в целом, так и по исследуемому Октябрьскому району г.Пензы в частности.

2. Находящиеся в эксплуатации детские дошкольные учреждения и начальные школы морально и физически устарели (строительство объектов по Октябрьскому району г. Пензы происходило в 1957–1989 гг.).

3. Все здания детских дошкольных учреждений Октябрьского района г. Пензы и начальных школ построены по типовым проектам, имеют стационарные перегородки, которые не способны трансформироваться и менять планировочное решение групповой ячейки при переменных нагрузках численности детей.

Изучение теоретических аспектов и природы демографических колебаний численности детей особенно актуально для сегодняшней архитектурной науки. В зависимости от демографического состава населения (конкретно рассмотрен Октябрьский район г. Пензы) количество мест в зданиях дошкольных учреждений на 1000 жителей может быть рассчитано исходя из нормы 70–90 мест.

Население по Октябрьскому району г. Пензы – 180 тыс. человек, количество детских садов и начальных школ – 29 объектов, которые обеспечивают местами 6000 детей. Дефицит мест, согласно статистическим данным по Октябрьскому району г. Пензы, в 2009 г. составил 3558.

Наглядно ситуация сокращения количества зданий детских дошкольных учреждений и начальных школ по России и по г. Пензе отражена на рис. 1, 2.

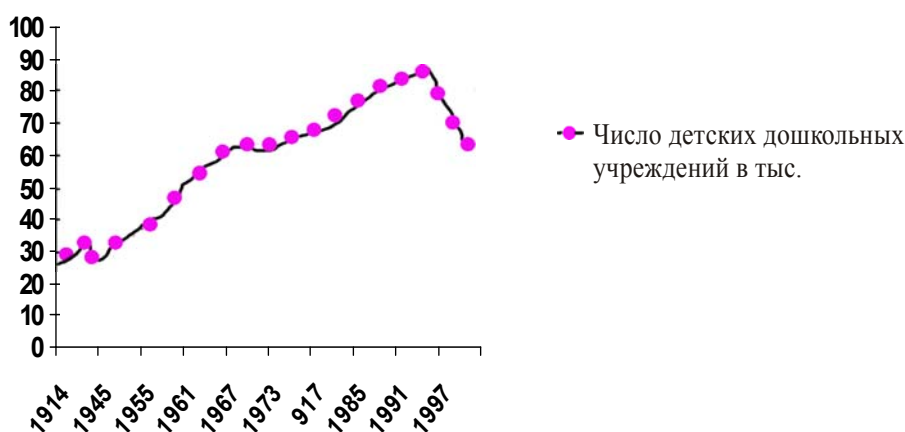


Рис. 1. Сокращение количества зданий детских дошкольных учреждений и начальных школ по России

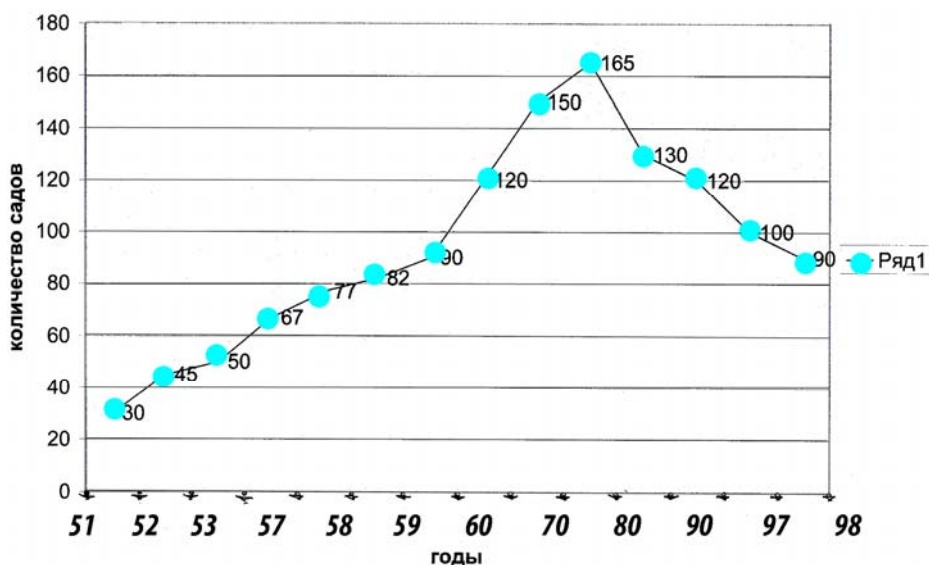


Рис. 2. Сокращение количества зданий детских дошкольных учреждений и начальных школ по г. Пензе

Проблема предоставления мест в детских дошкольных учреждениях в условиях демографических колебаний решается на государственном уровне правительством Российской Федерации и субъектами Российской Федерации на местах. Для ее решения Правительством Российской Федерации от 12 сентября 2008 г. №666 г. было разработано и утверждено «Типовое положение о дошкольных образовательных учреждениях». Настоящее положение регулирует деятельность государственных и муниципальных дошкольных учреждений всех видов, реализует основную общеобразовательную программу дошкольного образования. Детские дошкольные учреждения создают условия для реализации гарантированного гражданам Российской Федерации права на получение общедоступного и бесплатного дошкольного образования. Данное положение регулирует наполняемость в группах в зависимости от возраста.

Пензенская городская Дума приказом от 27.06.2008 №1010-47/4 разработала и законодательно утвердила муниципальную целевую программу развития дошкольного образования г. Пензы «Дошкольное детство» на период с 2008 по 2010 г. Данная целевая программа является программой Пензенской городской Думы, утвержденной приказом от 20.12.2007 №843-42/4. Она предусматривает обеспечение гарантий доступности и равных возможностей получения населением дошкольного образования и направлена на модернизацию и совершенствование существующих сетей детских дошкольных учреждений и создание новых типов зданий. Муниципальная целевая программа развития системы дошкольного образования г. Пензы «Дошкольное детство» (2008–2010 гг.) разработана с учетом специфики дошкольных образовательных учреждений г. Пензы, перспектив их развития, демографической ситуации в городе, реальных социально-экономических и культурных условий. Программа является организационной основой для проведения государственной политики в сфере образования на территории г. Пензы, так как определяет стратегию развития и расширения новой сети детских дошкольных учреждений.

Данная программа предусматривает строительство дошкольных образовательных учреждений по г. Пензе с 2007 по 2010 г. За этот период планируется ввести в эксплуатацию 6 вновь построенных зданий детских дошкольных учреждений, одно из которых – в Октябрьском районе г. Пензы. Также предлагается увеличить количество мест в детских дошкольных учреждениях за счет оптимизации действующей сети (возврат 4-х зданий с последующим капитальным ремонтом этих зданий).

В период с 2008 по 2010 г. предлагаются:

- устройство 120 прогулочных веранд на игровых участках детских дошкольных учреждений;
- капитальный ремонт 84 прогулочных веранд на игровых площадках детских дошкольных учреждений;
- капитальный ремонт бассейнов в 20 детских дошкольных учреждениях;
- благоустройство игровых площадок и капитальный ремонт физкультурных залов (87 объектов).

Учитывая результаты проведенного обследования по Октябрьскому району г. Пензы, выявлено, что на его территории требуется строительство 10 зданий вместимостью 240 мест и 2-х зданий вместимостью 480 мест. Работы, проведенные по реконструкции, достаточны для эксплуатации зданий на данный период времени.

По городу Пензе (за последнее десятилетие прошлого века) основными причинами сокращения сети дошкольных образовательных учреждений являлись: повышение родительской платы за содержание детей в детском саду, большой радиус доступности (ведомственные детские дошкольные учреждения находились вблизи предприятий, а не в спальных районах) и ликвидация ведомственных детских дошкольных учреждений в связи с банкротством предприятий. Это привело к снижению охвата детей дошкольным образованием: за период с 1990 по 2004 г. в Пензе были закрыты 75 дошкольных образовательных учреждений, принадлежавших различным ведомствам, что составляло 46 % от общего количества детских садов.

В настоящее время сеть муниципальных дошкольных образовательных учреждений г. Пензы для детей в возрасте от 1 до 6 лет состоит из 85 учреждений. По

состоянию на 01.01.2007 общее количество воспитанников муниципальных детских садов г. Пензы составляет 13337 детей. Нуждаются в предоставлении мест в детские дошкольные учреждения более 5000 детей, а по Октябрьскому району г. Пензы – 3558 детей. Это примерно 11 зданий на 240 мест и 2 здания на 480 мест. Такой расчет сети детских дошкольных учреждений не учитывает демографические колебания, создает нехватку мест в детских дошкольных учреждениях. Колебания численности детей по России и по г.Пензе отображены на рис. 3, 4.

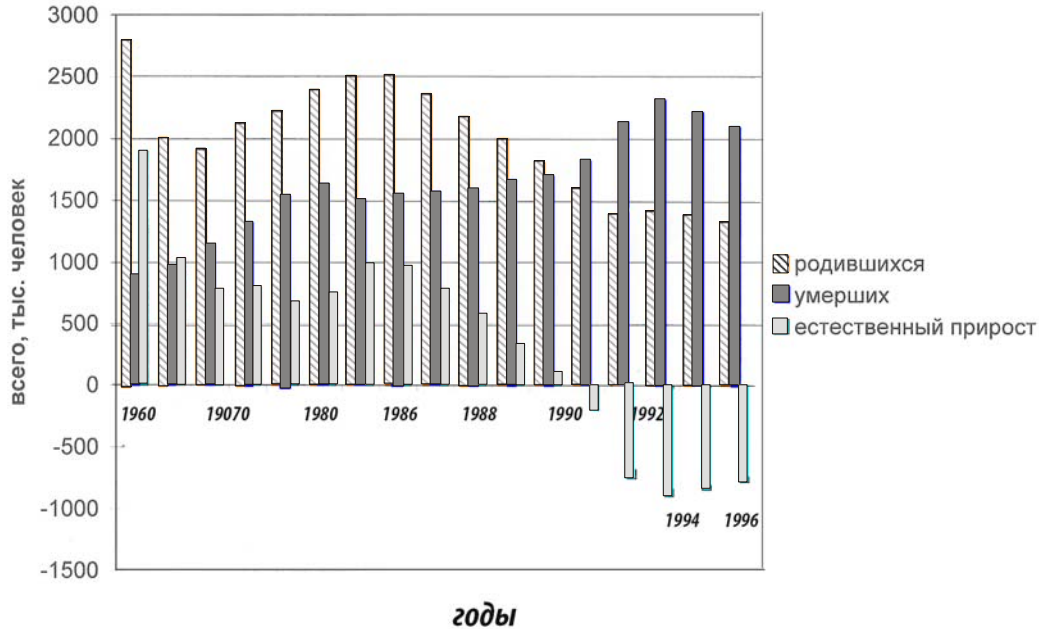


Рис. 3. Колебания численности родившихся детей по России

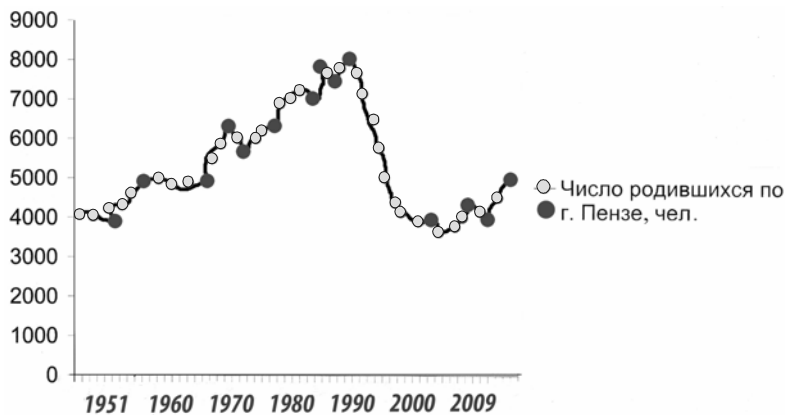


Рис. 4. Колебания численности родившихся детей по г.Пензе

Изменение демографической ситуации (рост рождаемости в 2007–2010 гг.) привело к увеличению числа детей дошкольного возраста, что сохраняет остроту и актуальность проблемы предоставления мест в детских садах на ближайший период. В свете решения муниципальной целевой программы по Пензе детские дошкольные учреждения включены в обязательную ступень системы образования, кроме того данная программа предусматривает расширение сети детских дошкольных учреждений за счет строительства новых зданий, которые способны трансформироваться и воспринимать переменные нагрузки численности детей, возврата в сеть ранее изъятых и реконструкции существующих.

Проводимое исследование предусматривало возможность строительства новых зданий и реконструкции существующих детских дошкольных учреждений с учётом увеличивающихся нагрузок. Предусматривалась также возможность трансформации

помещений с учетом демографических колебаний и тем самым обеспечение необходимой вместимости зданий детских дошкольных учреждений.

Применённая автором методика исследования проблемы предусматривала комплексное, системное изучение исходных материалов и была основана на:

- анализе последней переписи фонда детских дошкольных учреждений и школ;
- анализе материалов литературных и электронных информационных источников по изучаемой тематике, программ главного архитектора г. Пензы, данных центра мониторинга и статистики образования;
- изучении детских садов и начальных школ и среды их функционирования, в том числе на базе натурных обследований Октябрьского района г. Пензы (всего обследовано 29 детских дошкольных учреждений);
- разработке моделей зданий компенсирующего и многофункционального назначения;
- расчете нагрузки на ближайшую перспективу для г. Пензы (10 лет);
- составлении номенклатуры новых типов зданий детских дошкольных учреждений;
- предложении по экспериментальному проектированию зданий детских дошкольных учреждений.

Результаты проведенного исследования содержат предложения по архитектурно-типологическим решениям формирования детских садов и начальных школ с учетом демографических колебаний. Предложен новый тип многофункционального здания детского дошкольного учреждения и начальной школы, в основу которого заложена универсальная модуль-ячейка, способная воспринимать переменные нагрузки численности детей. Размер ячейки предлагается принять 12×12 м. Площадь основных помещений стандартной групповой ячейки согласно СНиП 31-06–2008, предложено принять, не менее:

- 1) групповая – 50 м²;
- 2) спальная – 50 м²;
- 3) туалетная – 16 м²;
- 4) раздевальная – 18 м²;
- 5) буфетная – 3,8 м².

Универсальная ячейка-модуль учитывает нормативные требования по габаритам как для начальной школы, так и для детских дошкольных учреждений. При помощи трансформируемых перегородок и мебели создаются гибкие планировочные решения, способные менять пространство ячейки в зависимости от назначения. Кроме того, использован новый принцип организации групповых ячеек – предусмотрена возможность трансформации и объединения помещений двух групп.

Данная универсальная ячейка полностью отвечает современным требованиям проектирования СНиП 31-06–2008. Предложенные состав и расчетные показатели помещений начальной школы предполагают необходимость проектирования для неё помещения для классных занятий площадью 3,3 м² на одного учащегося, спальни-игровой – 2,5 м² на одного учащегося. Вместимость предложенной ячейки – 24 ученика. С учётом предыдущего опыта проектирования детских дошкольных учреждений и начальных школ в стране и за рубежом в создании планировочных решений, использующих трансформируемые перегородки и мебель, предложенная модуль-ячейка взята за основу проектирования детских дошкольных учреждений.

В ходе проектирования особое внимание уделяется принципу единства человека и природы. В первые годы жизни ребенка неизмерима роль окружающей среды на этапе формирования личности. При проектировании детских дошкольных учреждений этот фактор рассматривается с учётом мнения психологов, педагогов и заведующих детскими дошкольными учреждениями Октябрьского района г. Пензы. При разработке проектов детских дошкольных учреждений и начальной школы окружающая среда становится неотъемлемой составной частью планировочного решения. Это решается в проектах при помощи обязательного включения элементов ландшафтной архитектуры в интерьеры детских дошкольных учреждений, а также двух-, трехстороннего освещения и освещения верхним светом с помощью фонарей.

Предложен новый тип зданий детских дошкольных учреждений, состоящий из модулей-ячеек, способных легко трансформироваться и менять свое функциональное назначение: детский сад – школа, школа – детский сад, что является главным при возрастном колебании численности детей.

Исходя из числа поданных заявок в детские дошкольные учреждения (3558 заявок), предлагается, согласно градостроительным СНиП, разместить на территории Октябрьского района г. Пензы не менее 11 зданий детских дошкольных учреждений на 240 мест и два здания на 480 мест универсального и многофункционального типов. Универсальные здания легко трансформируются и способны воспринимать больше переменных нагрузок на случай увеличения численности детей. В планировке зданий это достигается при помощи использования передвижных перегородок, легко разделяющих помещения на различные зоны. В предлагаемые решения включены современные разработки в области трансформируемых перегородок, мобильной и удобной мебели для оборудования детских дошкольных учреждений и начальных школ, которые были представлены на международной выставке «Архимед-2009». Такие разработки предлагается использовать в создании планировочной ячейки начальной школы, нового классного пространства:

Новые планировочные решения предусматривают:

- в ячейке с классной комнатой комнату для игр и отдыха школьников;
- помещения с верхним светом для занятий музыкой и спортом;
- сочетание ячеек с классами и гибкой планировкой центра композиции, где будут располагаться универсальные залы и рекреации.

Многофункциональные учреждения с гибкой функционально-планировочной структурой могут стать своеобразным «компенсатором» демографических колебаний, позволяющим удовлетворить любые изменения потребности в учебно-воспитательных учреждениях в пределах Октябрьского района г. Пензы. Эти здания должны быть неотъемлемым элементом жилых образований в условиях быстро изменяющейся демографической структуры населения. Для Октябрьского района г. Пензы предложено два таких здания на 480 мест.

Разработанные здания можно строить по всей территории России с их возможной корректировкой номенклатуры в целях более точного учета демографических особенностей района.

В дополнение к уже существующему составу помещений детских дошкольных учреждений предлагается добавить блоки для занятия музыкой, танцами, рисунком, творчеством, выставочные павильоны, а также комнаты психолога, усовершенствованные блоки медицинского обслуживания, физкультурные, гимнастические, бассейн, компьютерные классы. Комнаты для музыкальных и гимнастических занятий предлагается непосредственно связать с групповыми ячейками дошкольных групп и классными комнатами. При компактной композиции в центральной части здания могут быть размещены спортзалы, музыкальные, гимнастические и другие помещения, что обеспечит удобную взаимосвязь с групповыми ячейками. При таких планировочных решениях в центральной части здания располагаются все вертикальные коммуникации.

Для решения проблемы нехватки мест в детских дошкольных учреждениях в условиях демографических колебаний предлагается два типа зданий, способных воспринимать переменные нагрузки численности детей:

1. Здание-стабилизатор, в основе которого – универсальная модуль-ячейка с трансформируемыми перегородками и мебелью, компактное в планировочном решении. Его возможно разместить в существующей застройке как самостоятельное здание, так и присоединенное к существующим зданиям детских дошкольных учреждений.

2. Многофункциональный комплекс – здание, которое одновременно совмещает в себе детский сад и начальную школу. Это здание, собираемое из стабилизирующих секций; часть здания – детский сад, вторая часть – начальная школа.

При разработке детских дошкольных учреждений, помимо функциональных требований, учтены общие факторы, которые лежат в основе создания новых типов зданий-стабилизаторов:

1. Объемно-пространственное решение окружающей застройки.
2. Органическая связь здания с участком.
3. Целесообразность градостроительной маневренности здания.
4. Островное расположение здания в сети застройки.
5. Развитая пластически объемно-пространственная структура здания.
6. Зрительная связь групповых и игровых (столовых) с окружающей средой, ландшафтом.

Предлагаемая номенклатура новых типов помещений, их связи, объемы основаны на изучении современных тенденций в проектировании и строительстве детских дошкольных учреждений и начальных школ за рубежом и у нас в стране. Учтены специфика жизни ребенка в городской местности, уровень развитости других видов услуг.

Основные функциональные зоны внутри здания детского дошкольного учреждения: групповые со спальнями в отдельных помещениях; мир физической культуры (спортзал, небольшой плавательный бассейн с душами для закаливания, сооружения для игр); мир духовной культуры (зал музыки и танцев, кукольный театр, выставочный зал); мир труда (мастерские для девочек и мальчиков, огород – сад); мир природы (биологический уголок, оранжерея); мир искусства (студия рисунка, народной керамики, студия цвета и красок); хозяйственный блок с хозяйственным двориком.

Предполагается, что функции некоторых зон и помещений со временем могут меняться. Например, выставочные залы при помощи трансформируемых перегородок могут быть использованы как компьютерные классы и классы для занятий иностранными языками в начальной школе и т.д.

Внутренние и дворовые пространства следует строить по принципу непринужденного, но целенаправленного воздействия на психику ребенка цветом, формой, содержанием, звуком.

В новых проектах детских дошкольных учреждений предлагается соблюдать эмоциональную взаимосвязь как внутри отдельных пространств, так и между отдельными помещениями, зонами внутри здания и пространствами во дворе. Сценарий деятельности не нарушается в плохую погоду: группы детей могут заниматься в различных помещениях под крышей, не мешая друг другу. Для этих целей используется пространство под проектируемой скатной крышей.

Все групповые функционально связаны с залами и тематическими помещениями, а также с двором и столовой.

Цветовой пестроте современных детских учреждений противопоставляется спокойная цветовая гамма помещений и оборудования во дворе. Мебель формирует микропространства для различных форм деятельности. Было решено отказаться от традиционных сказочных раскрасок стен групповых, их заменили на гобелены, которые можно периодически менять. (Ребенок быстро адаптируется, ему надоедает один рисунок, т. е. начинается процесс безразличия, потери интереса к искусству). Во внутренних пространствах мансардного этажа эмоциональное воздействие предложено усиливать верхним (фонарным) освещением, открытыми деревянными конструкциями.

В архитектуре проектируемых зданий-стабилизаторов и многофункционального комплекса детских дошкольных учреждений автором предусматривается обязательность гармоничной связи с окружающей средой, так как двор – это своеобразное продолжение и дополнение внутренних пространств. Участок детского дошкольного учреждения разделен на тематические зоны-миры: «Мир песка», «Сад», «Игровая крепость».

Для создания зеленых пространств должны быть использованы существующие деревья, кустарники. Их расположением частично может быть продиктована общая идея планировки двора.

Проблема нехватки мест в детских дошкольных учреждениях и начальных школах в связи с демографическими колебаниями явилась одним из главных факторов

создания новой номенклатуры блоков помещений для детских дошкольных учреждений и начальных школ с детальной проработкой планировочных решений. Это отражено в таблице.

Номенклатура зданий детских дошкольных учреждений, способных воспринимать переменные нагрузки

Перечень типов	Экспозиция (схема планировки здания).	Название типов	Состав основных групп помещений	Вместимость и площадь здания
ТИП №1		Многофункциональный комплекс (начальная школа-детский сад).	1 групповая ячейка 2 кухня 3 гимнастический зал 4 лестничный ход 5 комната заведующей и мед. помещения.	S=9880 480-720 детей
ТИП №2		Универсальный тип (способный трансформировать ячейки и пространства при демографических колебаниях численности детей).	1 групповая ячейка 2 кухня 3 гимнастический зал 4 лестничный ход 5 комната заведующей и мед. помещения.	S=3456-4008 395 детей
ТИП №3		Универсальный тип (воспринимающий переменные нагрузки численности детей прибавлением универсального блок-модуля).	1 групповая ячейка 2 кухня 3 гимнастический зал 4 лестничный ход 5 комната заведующей и мед. помещения.	S=2672 210-420 детей
ТИП №4		Универсальный тип (способный переоборудоваться из детского сада в начальную школу, трансформации внутри ячейки).	1 групповая ячейка 2 кухня 3 гимнастический зал 4 лестничный ход 5 комната заведующей и мед. помещения.	S=3054 240-360 детей
ТИП №5		Универсальный тип (способный переоборудоваться из детского сада в начальную школу, трансформации внутри ячейки).	1 групповая ячейка 2 кухня 3 гимнастический зал 4 лестничный ход 5 комната заведующей и мед. помещения.	S=2584 235-470 детей
ТИП №6		Универсальный тип (способный переоборудоваться из детского сада в начальную школу, трансформации внутри ячейки).	1 групповая ячейка 2 кухня 3 гимнастический зал 4 лестничный ход 5 комната заведующей и мед. помещения.	S=3054 250-500 детей
ТИП №7		Универсальный тип (способный переоборудоваться из детского сада в начальную школу, трансформации внутри ячейки).	1 групповая ячейка 2 кухня 3 гимнастический зал 4 лестничный ход 5 комната заведующей и мед. помещения.	S=2650 210-420 детей
ТИП №8		Универсальный тип (трансформация из детского сада в начальную школу, возможность объединения помещений двух групп).	1 групповая ячейка 2 кухня 3 гимнастический зал 4 лестничный ход 5 комната заведующей и мед. помещения.	S=4652 305 детей

Резервные площади современных зданий детских дошкольных учреждений показаны на рис 5.

Буферные площади помещений и универсальные блок-секции детских дошкольных учреждений представлены на рис. 6.

Группы помещений, которые рекомендуется предусматривать при проектировании современных зданий детских дошкольных учреждений в качестве резервных на случай дальнейшего демографического подъема



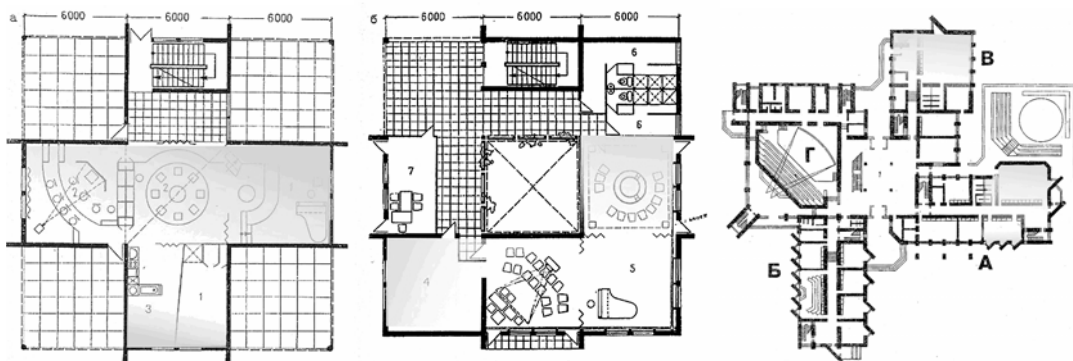
Класс рисования и лепки

Фойе – выставочный зал

Классы рисунка, живописи и скульптуры

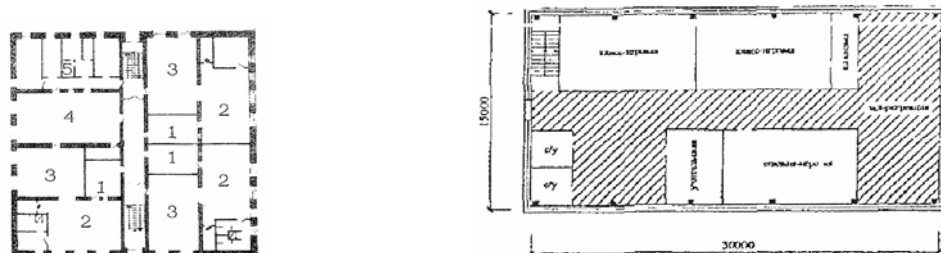
Рис. 5. Резервные площади

Блок-секции детских школ искусств, способные трансформироваться в детские дошкольные учреждения и начальные школы



Варианты универсальных блоков-пристроек

к существующим зданиям детских дошкольных учреждений и начальных школ



1 – раздевальная; 2 – групповая; 3 – спальня;

4 – универсальный зал; 5 – вспомогательные помещения

Рис. 6. Буферные площади помещений и универсальные блок-секции детских дошкольных учреждений

Универсальная ячейка-модуль 12×12, способная воспринимать переменные нагрузки численности детей, показана на рис. 7.

Здание-стабилизатор на 240 мест, способное воспринимать переменные нагрузки численности детей, представлено на рис. 8.

Многофункциональный комплекс на 480 мест, способный воспринимать переменные нагрузки численности детей, представлен на рис. 9.

В результате проведенной работы сделаны следующие выводы:

1. Спроектирован новый тип здания дошкольного учреждения, способного воспринимать переменные нагрузки численности детей (здание-стабилизатор и многофункциональный комплекс). В его основу заложена разработанная автором универсальная модуль-ячейка, которая способна трансформироваться из детского сада в начальную школу и наоборот.

2. На основе универсального типа здания-стабилизатора разработан многофункциональный комплекс – центр развития ребенка, который используется одновременно как начальная школа и детский сад.

3. В Октябрьском районе г. Пензы выделены «буферные» зоны, способные частично воспринимать на себя демографические колебания. Определенные блоки и помещения в существующих зданиях музыкальных и художественных школ, клубов, способных в период демографического подъема воспринимать частично нагрузку численности детей, а в период демографического спада функционировать по их первоначальному назначению. Предлагается использовать элементы быстровозводимой архитектуры в виде универсальных блок-секций, способных легко монтироваться на месте и воспринимать нагрузку численности детей во время демографического подъема.

4. Дополнительно к традиционно существующему набору помещений предложена номенклатура новых помещений, основанная на изучении современных тенденций в проектировании и строительстве детских дошкольных учреждений и начальных школ у нас в стране и за рубежом. В их состав вошли: репетиционный зал, мастерские прикладного искусства и композиции, залы для занятий классическими танцами, универсальный зал, фойе – выставочный зал, класс музыки, класс хора, комнаты для индивидуальных занятий.

5. Внутренние помещения, разработанных типов зданий и оборудование во дворе предложено выполнять в спокойной цветовой гамме, т.к. спокойные цвета более гармонично влияют на психику ребенка, не раздражают и создают благоприятные условия для его развития.

6. Архитектура предложенных типов зданий предусматривает гармоничную связь с окружающей средой, двор является своеобразным продолжением внутренних пространств. Участок детских дошкольных учреждений предполагает тематические зоны-миры: «Мир песка», «Сад», «Игровая крепость» и др. Наряду с эстетической направленностью зданий, которая воспитывает гармоничное восприятие окружающей среды у детей, прививает чувство единства с природой, универсальные блок-секции способны воспринимать переменные нагрузки численности детей в диапазоне от подъема флюктуации до ее спада в период демографических колебаний.

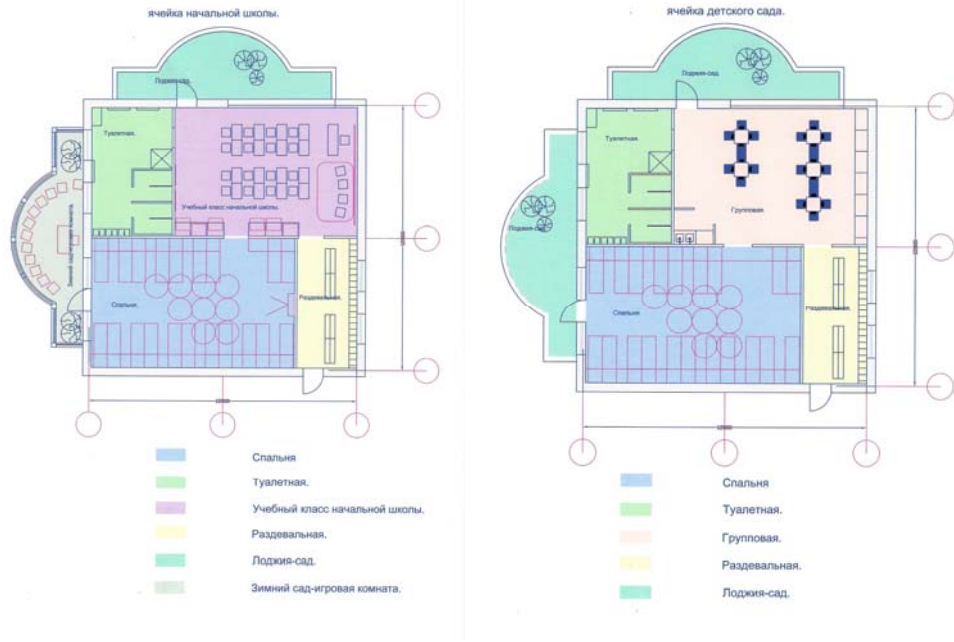


Рис. 7. Модуль-ячейка 12×12 м



Рис. 8. Здание-стабилизатор:
а – начальная школа; б – детское дошкольное учреждение



Рис. 9. Многофункциональный комплекс

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 334.7: 005.2

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Чемезов Игорь Станиславович,
аспирант кафедры «Менеджмент»
Тел.: (8412) 55-75-53
E-mail: chemezoff@list.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Chemezov Igor Stanislavovich,
Postgraduate of the department
«Management».
Tel.: (8412) 55-75-53
E-mail: chemezoff@list.ru

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ЦЕННОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ

И.С. Чемезов

Рассмотрены вопросы развития организационной культуры. На основе анализа результатов исследования строительных организаций сделаны выводы о приоритетности различных организационных ценностей на разных фазах развития. Предложен способ уточнения результатов диагностики фазы развития предприятия путем выявления доминирующей культуры.

Ключевые слова: управление развитием предприятий, организационное развитие, фазовый переход, организационная культура, организационные ценности.

ANALYSIS OF ORGANISATIONAL VALUES CHANGES IN CONSTRUCTION ENTERPRISES IN THE COURSE OF DEVELOPMENT

I.S. Chemezov

The issues of organizational culture are discussed. Based on the construction organizations analysis results. The author draws conclusions about the priority of various organizational values on different stages of development. A method which clarifies the results of diagnostic phase of enterprise development through identification of the dominant culture is offered.

Keywords: management of enterprise development, organizational development, phase transition, organizational culture, organizational values.

Тема управления развитием предприятий последние десять-пятнадцать лет является одной из самых обсуждаемых в сообществе российских ученых и консультантов по управлению. Это неслучайно – ведь использование моделей развития и моделей жизненного цикла в качестве основных теоретических инструментов изменений позволяет

выявлять и прогнозировать основные типичные причины организационных кризисов и преодолевать эти кризисы, задавая ключевые ориентиры в направлениях развивающихся преобразований. И в то же время эти модели позволяют доступно, на понятном практикам языке объяснить, что и как нужно менять.

Множество статей, книг, диссертаций, появляющихся в последнее время, а также конференций и симпозиумов, проводимых по теме управления развитием и жизненным циклом предприятий, подтверждают все возрастающий интерес к проблеме.

Появился спрос со стороны ведущих предприятий на использование методик развития в управлении предприятием и соответствующее предложение со стороны консультантов. Однако на сегодняшний день в российском научном сообществе примеров исследований, посвященных эмпирическому изучению хода развития и, в частности, диагностированию стадий, известно совсем немного [1, 2]. Большинство моделей развития и жизненного цикла построены как творческое отображение авторского восприятия процесса изменений в организации, синтезирующее предшествующий личный опыт, и зачастую не подкрепленное сколько-нибудь точными измерениями прогнозирования. В итоге идеальная модель развития предприятия нередко может оказаться неприменимой к изучению данного процесса на практике.

Так, в результате проведения исследований процессов развития предприятий автор столкнулся с проблемой неоднородности развития их отдельных подсистем и существенных элементов. Основная задача, которая встает перед исследователем в этой связи, – выявление детерминантного фактора, определяющего принадлежность всей системы к одной конкретной стадии развития. В качестве такого фактора представляется целесообразным выбор организационной культуры, объективно сложившейся и преобладающей во всей организации. Индикаторами, позволяющими производить оценку состояния и особенности организационной культуры, являются организационные ценности.

Цель работы – обобщить результаты исследования приоритетности различных организационных ценностей на разных фазах развития предприятия и сформулировать выводы об использовании анализа организационной культуры в целях диагностики фазы развития предприятия.

В качестве базовой модели для проведения исследования процесса развития была выбрана модель органического эволюционного развития предприятия Б. Ливехуда и Ф. Глазла [3], включающая четыре фазы (или стадии): пионерскую, дифференциации, интеграции и ассоциации, смена которых происходит путем преодоления кризисов (или граничных проблем), являющихся неизбежными для развивающихся предприятий. Причины выбора в качестве базовой именно данной модели – полнота, системный подход, учет влияния внутренней и внешней среды, а также практичность, выраженная в наличии конкретных инструментов для осуществления развивающихся изменений [4].

В основу исследования организационной культуры был положен перечень ценностей, разработанный Джорджем Энглендом для изучения специфики национальных управленческих культур: производительность, стабильность организации, рост организации, благополучие работников, лидерство в отрасли, максимизация прибыли, социальное благополучие, организационная эффективность [5].

Объектом исследования выступили строительные организации города Пензы и Пензенской области, предположительно находящиеся на разных фазах развития.

В качестве метода сбора первичных данных был выбран метод анкетирования. Причины выбора данного метода исследования обусловлены его универсальностью и оптимальной, по отношению к другим методам, пригодным для данных целей, трудоемкостью.

На первом этапе по выбранным параметрам предстояло оценить состояние основных конституирующих существенных элементов организации (идентичность; политика, стратегия, программы; структура; люди, группы, климат, руководство; отдельные функции, органы; процессы, общий ход дела; физические средства). Согласно модели Б. Ливехуда и Ф. Глазла, выбранной в качестве базовой, характеристики каждого существенного элемента организации меняются определенным образом в зависимости от фазы развития. Отнесение к той или иной фазе развития осуществлялось по двум итоговым показателям – моде, отражающей наиболее частый выбор респондентами

ответа, соответствующего конкретной стадии, и среднему арифметическому – использовался в качестве вспомогательного для уточнения.

На втором этапе была поставлена задача исследовать изменение приоритетности организационных ценностей на разных фазах развития с целью возможности использования данного критерия в качестве уточняющего для диагностики фазы развития. Одновременно таким образом предстояло осуществить эмпирическую проверку положений базовой теории. Для этого респондентам было предложено проранжировать предложенные ценности по их относительному уровню значимости в данной организации.

Материалом для анализа процесса управления развитием предприятий в данной работе выступили первичные данные, собранные в результате исследования предприятий города Пензы и Пензенской области, проведенного в 2010 году. В нем приняло участие 47 строительных предприятий города Пензы и Пензенской области. Выборка производилась случайным образом, с тем лишь условием, что предприятия должны были быть разными: по форме собственности, численности персонала, возрасту и т.п. Такие различия предположительно должны были отразиться и на уровне развития предприятий.

Анализ результатов исследования позволил сделать выводы о характере изменений организационных ценностей в процессе развития. В таблице представлено распределение среднего ранга (показатель рассчитан как среднее арифметическое ранжирования ценностей респондентами) и итогового ранга значимости организационных ценностей предприятий на разных фазах развития. По таблице можно проследить динамику приоритетов в организационных ценностях строительных предприятий при прохождении различных фаз в развитии.

Приоритетность организационных ценностей строительных предприятий Пензенской области на разных фазах развития

Организационные ценности	Фаза развития предприятия											
	пионерская фаза		кризис пионерской фазы		дифференциальная фаза		кризис дифференциальной фазы		интегральная фаза		кризис интегральной фазы	
	итоговый ранг	средний ранг	итоговый ранг	средний ранг	итоговый ранг	средний ранг	итоговый ранг	средний ранг	итоговый ранг	средний ранг	итоговый ранг	средний ранг
Производительность	3	3,5	2	2,8	2	3,4	5	4,1	2	3,5	3	3,0
Стабильность организации	2	2,7	1	2,2	1	2,7	1	3,4	3	4,0	7	7,0
Рост организации	4	6,5	6	5,6	4	3,8	4	3,9	4	6,3	5	5,0
Благополучие работников	3	3,5	4	4,8	3	3,7	7	5,2	1	2,8	6	6,0
Лидерство в отрасли	3	3,5	5	5,4	5	4,9	3	3,7	5	6,5	1	1,0
Максимизация прибыли	1	1,3	2	2,8	4	3,8	2	3,6	6	6,8	2	2,0
Социальное благополучие	5	7,5	7	5,8	5	4,9	8	6,1	2	3,5	8	8,0
Организационная эффективность	4	6,5	3	4,2	6	5,8	6	4,5	4	6,3	4	4,0

Так, в пионерской фазе предприятия четко ориентированы на коммерческий результат, стабильность превалирует над ростом, высокую значимость имеет ценность «благополучие работников». Эти признаки соответствуют характеристике фазы в базовой модели.

При вступлении в кризис пионерской фазы «максимизация прибыли» уступает первую позицию «стабильности» и делит второе место с ценностью «производительность».

В свою очередь, как раз стабильности и предсказуемости не хватает пионерской организации, что знаменует вхождение в стадию кризиса пионерской фазы. «Социальное благополучие» отходит на второй план, так же как и установка на «лидерство в отрасли» – решается вопрос о дальнейшем существовании и развитии предприятия.

При вхождении в дифференциальную стадию порядок ранжирования ценностей исследуемых предприятий практически не поменялся, однако средние значения рангов немного изменились, например, повысилась ценность роста организации, что является подтверждением оздоровления организаций в данной фазе и проявлением установки на дальнейшее развитие.

Далее абсолютная ценность стабильности продолжает уменьшаться, а относительная значимость ценностей «максимизация прибыли» и «лидерство в отрасли» возрастает. При этом роль человека в организации отодвигается на задний план, что становится одной из основных причин проблем, возникающих при вхождении в фазу кризиса дифференциальной стадии.

Предприятия, сумевшие снять накопившееся в предыдущей фазе напряжение, достигают интегральной стадии, где руководство вновь, и даже в большей степени, чем раньше, становится социально ориентированным. Ценность «благополучие работников» получает наибольший вес. Впервые максимизация прибыли отходит на задний план и занимает последнее место по уровню значимости для предприятия.

Сотрудник становится важнее клиента, и в результате возникает необходимость очередной переоценки ценностей, которая происходит при вхождении предприятия в кризис интегральной фазы. На этом этапе экономические показатели снова выходят на первое место. При этом предприятие уже достаточно окрепло, чтобы в качестве основной своей ценности провозгласить лидерство в отрасли.

Последний фазовый переход, который рассматривается в базовой модели, к сожалению, в рамках исследования, остался неосвященным, так как в результате диагностики ни одно из обследуемых предприятий не было отнесено к фазе ассоциации. Можно предположить, что в последней фазе развития предприятия возрастет значение ценности «организационная эффективность», но ее понимание будет более широким, включающим в себя гармоничное сочетание экономических показателей и человеческого фактора.

Картина остается неполной при отсутствии характеристик фазы ассоциации, но тем не менее позволяет сделать определенные выводы о диалектичности и цикличности характера развития, подтверждающего положения базовой теории, и наметить ключевые ориентиры для преодоления кризисов в развитии.

Обобщая итоги проведенного анализа, можно сформулировать следующие выводы. Исследование изменения организационных ценностей в процессе развития, проведенное на примере строительных предприятий Пензенской области, подтвердило жизнеспособность теории Ф. Глазла и Б. Ливехуда в российских условиях. Проявившиеся в результате исследования изменения в культуре организаций при переходе от стадии к стадии происходят в русле описанного моделью сценария.

Несмотря на возможные различия в уровне развития отдельных подсистем и элементов организации, можно говорить о типичной для всей системы организационной культуре, которая и может быть основанием отнесения предприятия к той или иной фазе развития. В свою очередь, фаза развития особым образом определяет приоритетность ценностей организации. Знание закономерностей изменений в организационных ценностях позволяет более точно проводить диагностику фазы развития предприятий, повышая эффективность построения механизмов управления развитием предприятий.

Список литературы

1. Широкова, Г.В. Жизненный цикл организации: эмпирические исследования и теоретические подходы [Текст] / Г.В. Широкова // Российский журнал менеджмента. – 2007. – Т.5. – № 3. – С. 85–90.
2. Широкова, Г.В. Особенности формирования жизненных циклов российских компаний (эмпирический анализ) [Текст] / Г.В. Широкова, И.С. Меркурьева, О.Ю. Серова // Российский журнал менеджмента. – 2006. – Т.4. – №3. – С. 3–26.
3. Глазл, Ф. Динамичное развитие предприятия. Как предприятия-пионеры и бюрократия могут стать эффективными [Текст]: пер. с нем. / Ф. Глазл, Б. Ливехуд. – Калуга: Духовное познание, 2000. – 264 с.
4. Кондратьев, Э.В. Сравнительный анализ основных моделей развития предприятия [Текст] / Э.В. Кондратьев, И.С. Чемезов; под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. С.Д. Резника // Менеджмент: управление организацией в условиях кризиса: Межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 1. – Пенза: ПГУАС, 2010. – С. 110–117.
5. England G.W., Dhingra O.P., Agarwal N.C. The Manager and the Man: A Cross-Cultural Study of Personal Values. – Kent, OH: Kent University Press, 1974.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Артамонова Юлия Сергеевна,

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и инвестиции»

Тел.: 8(8412)55-75-53, 89063968621

E-mail: artamonova@mail.ru

Хрусталеv Борис Борисович,

доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика, организация и инвестиции».

Тел.: 8(8412)55-75-53, 89053674374

E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

Савченков Александр Викторович,

аспирант кафедры «Экономика, организация и инвестиции»

Тел.: 8(8412)55-75-53

E-mail: eoi@pguas.ru

Оськина Ирина Викторовна,

аспирант кафедры «Экономика, организация и инвестиции»

Тел.: 8(8412)55-75-53

E-mail: palloncino@mail.ru

Penza State University of Architecture and Construction

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

Artamonova Julia Sergeevna,

Candidate of Science in Economic, Associate Professor of the department «Economics Organization and Invest»

Tel.: 8(8412)55-75-53, 89063968621

E-mail: artamonova@mail.ru

Khrustalev Boris Borisovich,

Doctor of Science in Economic, Professor, Head of the department «Economics Organization and Invest».

Tel.: 8(8412)55-75-53, 89053674374

E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

Savchenkov Alexander Victorovich,

Postgraduate of the department «Economics Organization and Invest»

Tel.: 8(8412)55-75-53

E-mail: eoi@pguas.ru

Oskina Irina Victorovna,

Postgraduate of the department «Economics Organization and Invest»

Tel.: 8(8412)55-75-53

E-mail: palloncino@mail.ru

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИЙ*

Ю.С. Артамонова, Б.Б. Хрусталеv, А.В. Савченков, И.В. Оськина

Приводятся результаты исследования по проблеме стратегического развития региональных строительных комплексов. Предлагается решение данной проблемы на основе разработки и реализации инновационной стратегии.

Ключевые слова: стратегия развития строительного комплекса, инновации, региональное строительное предприятие.

STRATEGIC DEVELOPMENT OF THE REGIONAL BUILDING COMPLEX ON THE BASIS OF INNOVATIONS

J.S. Artamonova, B.B. Hrustalev, A.V. Savchenkov, I.V. Oskina

Research results of regional construction industry strategic development are given. The author offer to solve this problem on the basis of innovative strategy development and realization.

Keywords: development strategy for building complex, innovations, regional construction company.

* Исследование проводилось в рамках государственного контракта № 16.740.11.0286 на выполнение научно-исследовательских работ по теме: «Стратегическое развитие региональных инвестиционно-строительных комплексов в нестабильных условиях».

Влияние нестабильных условий функционирования экономики России на эффективность развития региональных строительных комплексов неоднозначно. С одной стороны, резко снизился приток инвестиций в строительство объектов недвижимости, с другой стороны, региональные органы государственной власти стали более дифференцированно относиться к объектам инвестирования, отдавая предпочтение эффективно функционирующим на рынке предприятиям с высокой экономической устойчивостью, а также и малым предприятиям.

Анализ современных тенденций и проблем стратегического развития строительного комплекса, его инфраструктуры и основных фондов указывает на то, что данные проблемы приняли системный характер, требуется комплексный подход к их решению. Одним из эффективных направлений развития регионального строительного комплекса является инновационное.

Инновация здесь определяется как объект интеллектуальной собственности, представленный в виде выведенного на рынок готового продукта или услуги.

Инновации как одно из основных направлений эффективного развития региональных инвестиционно-строительных комплексов России включают не только технические или технологические разработки, но и использование новых методов работы на рынке, новых товаров и услуг, новых финансовых инструментов. Новые товары и услуги характеризуются более высоким технологическим уровнем, более высокими потребительскими качествами по сравнению с предыдущим продуктом. Являясь важнейшим фактором стабильного функционирования предпринимательских, финансовых, кредитных, любых других структур, инновации обеспечивают их экономический рост и конкурентоспособность.

Инновационное развитие строительного комплекса осуществляется в зависимости от особенностей региона.

Исходя из распределения ресурсов, регионы РФ можно разделить на следующие группы:

Г-1. К таким регионам относится обширная территория, охватывающая северо-восточную часть Европы и Север Азии, с суровым климатом на большей её части, с низкой в среднем плотностью населения, с весьма богатым и разнообразным, но чрезвычайно разбросанным потенциалом природных ресурсов, т.е., по сути, речь идёт о регионах с «экономическими изюминками» типа нефти, газа, золота и прочих природных богатств.

Г-2. Это группа регионов-лидеров инвестиционного рынка. Пользуясь терминами фондового рынка, их можно назвать «голубыми фишками». Они широко известны: Москва и Московская область, Санкт-Петербург и Ленинградская область, Нижний Новгород, Самара. Государственной помощи эти регионы не требуют.

Г-3. Представлена регионами, где сконцентрировано большое количество высококвалифицированных трудовых ресурсов; природные ископаемые ограничены, инвестиционная деятельность мала [1].

Целью инновационной стратегии развития Пензенской области является создание региональной инновационной инфраструктуры для объединения усилий федеральных органов государственной власти, органов государственной власти Пензенской области и органов местного самоуправления Пензенской области, организаций научно-технической сферы и предпринимательского сектора строительного комплекса региона в интересах ускоренного использования достижений науки и технологий для перехода экономики области на инновационный путь развития.

Отсюда вытекает необходимость решения основных задач для строительного комплекса:

- формирование организационно-правовых и финансовых механизмов управления развитием инноваций;
- интеграция ресурсов и субъектов науки, промышленности и бизнеса для инновационной деятельности;
- вхождение в межрегиональный рынок инноваций и привлечение инвестиций в отрасль;

- создание благоприятной среды для инновационной деятельности.

Что касается Пензенской области, относящейся к группе Г-3, то при формировании инновационной стратегии развития регионального строительного комплекса акцент должен делаться на развитие науки и коммерциализацию инноваций.

В числе основных можно выделить три направления инновационного развития строительного комплекса:

- формирование системы управления инновационно-строительной деятельностью в регионе;
- совершенствование научно-образовательной системы в области строительства;
- создание механизма реализации инноваций.

Как известно, система управления инновационной деятельностью должна обеспечивать эффективное взаимодействие всех этапов развития инновации, начиная от идеи до ее реализации в виде готовой строительной продукции. Также необходимо обеспечить эффективное взаимодействие основных институтов инновационной, инвестиционной и производственной деятельности в строительстве.

Такая система управления может сформироваться только при поддержке региональных органов государственной власти для обеспечения координации взаимодействия всех участников инновационно-строительного процесса. Основные элементы такой системы уже существуют: создано Управление инновационного развития Пензенской области, работает сеть бизнес-инкубаторов и центров трансфера технологий. Необходимо создать недостающие составляющие (венчурный фонд, региональную сеть бизнес-ангелов) и обеспечить эффективное взаимодействие основных участников инновационно-строительной деятельности в Пензенской области.

Система управления инновациями в регионе включает в себя:

- приоритетную поддержку фундаментальных исследований в области строительства и реформирования науки;
- активизацию интеграции образования и науки;
- развитие рынка интеллектуальных активов;
- развитие рынка инновационного капитала;
- развитие рынка услуг поддержки инновационной деятельности;
- совершенствование системы образования для подготовки специалистов в инновационной сфере;
- развитие производственной технологической инфраструктуры;
- содействие использованию инфо-коммуникационных технологий в государственном управлении и социально-экономической сфере.

Инновационное развитие регионального строительного комплекса не возможно без управления рынками инновационной продукции, на которые будут ориентированы инновационные строительные предприятия. Основной характеристикой строительного комплекса региона является механизм удержания параметров системы в заданных границах. Для строительного комплекса присуща самоорганизация системы; самопроизвольное упорядочивание внутренней структуры, проявляющееся в установлении между элементами системы дальних корреляций (увеличение жесткости и дальности связей).

Любая система всегда стремится к «стационарному» состоянию, соответствующему минимальному производству энтропии, компенсирующему воздействию внешних связей, производящих отрицательную энтропию (мера дезорганизации системы обратна величине организации и упорядоченности).

Согласно второму принципу Единой геометрической теории управления, разработанной А.Г. Бутковским, заключающемуся в том, что «все существующие в мире системы поддерживаются, пока и поскольку их поддерживают соответствующие им регуляторы обратной связи...» [2], необходимо создание условий для инновационного развития комплекса, не носящих директивного характера, а обеспечивающих соответствие внешней и внутренней среды входящих в него предприятий.

Строительная система по принципу экономии внутренних ресурсов стремится к равновесному состоянию с максимальным уровнем дезорганизации, допустимым внешними разрушающими воздействиями, которым система вынуждена противостоять. Чем сильнее внешние антиэнтропийные воздействия, тем сильнее должны быть взаимосвязаны элементы системы и тем выше ее уровень самоорганизации.

Решение ключевых экономических задач (максимизация прибыли, производство качественной продукции, удовлетворение потребности потребителей, экономический рост) имеет специфические особенности в рамках различных организационно-экономических ситуаций развития региональных строительных комплексов. Рассмотрим каждую из возможных ситуаций (рис. 1).

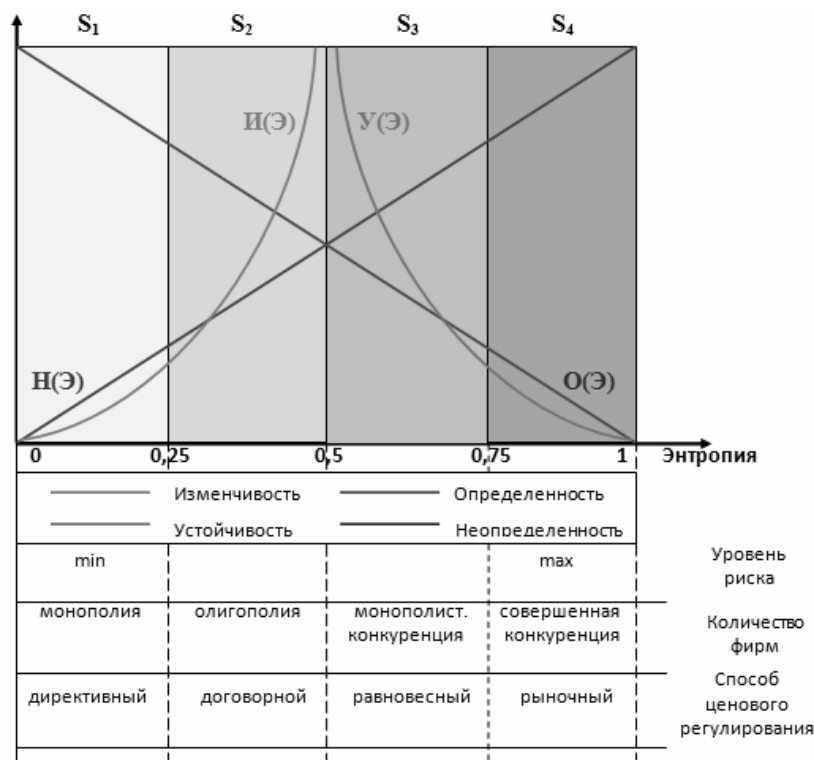


Рис. 1. Организационно-экономические ситуации развития региональных строительных комплексов

S₁ – «Устойчивая определенность»

Функционирование данной системы возможно при условии, если разработанный и выведенный на рынок инновационный продукт является принципиально новым, имеет новые качественные характеристики, формирует новую нишу на рынке строительного производства, является необходимым для осуществления строительного производства. Характерными чертами такой системы являются: минимальное количество хозяйствующих субъектов, функционирующих в данной сфере производства, монополизация экономики.

Проникновение в отрасль дополнительных фирм заблокировано, так что фирма представляет собой всю отрасль. Поскольку существует только один продукт, очевидно, что отсутствует дифференциация строительной продукции.

Хозяйственный механизм такой системы имеет ряд особенностей. Он предполагает директивный способ ценового регулирования и централизацию исполнительной власти при минимальном уровне риска. Такая организационно-экономическая ситуация имеет ряд существенных недостатков. Чрезмерная централизация исполнительной власти ведет к бюрократизации хозяйственного механизма и экономических связей. Бюрократический централизм не способен обеспечить рост эффективности хозяйственной деятельности строительного комплекса, так как полное огосударствление

хозяйства вызывает монополизацию производства продукции и оказания услуг. В такой ситуации отсутствуют материальные и людские резервы в случае возникновения диспропорций в отрасли. Высокие барьеры для вступления конкурентов на рынок полностью блокируют потенциальную конкуренцию.

S₂ – «Неустойчивая определенность»

Система формируется при наличии новых характеристик инновационного строительного продукта и существующих аналогов. Она близка к олигополии с небольшим количеством действующих компаний и невысоким уровнем риска. Немногочисленность инновационных строительных компаний означает, что решения об определении цен на новую продукцию и существующие аналоги являются взаимозависимыми. Каждая компания испытывает на себе влияние решений, принимаемых ее конкурентами, и должна учитывать эти решения при ценообразовании и определении объема оказываемых услуг.

S₃ – «Оптимальная определенность»

Ситуация соответствует рынку монополистической конкуренции. Дифференциация создает благоприятные условия для продажи и обновления продукции. Вхождение в отрасль инновационных компаний простое, однако увеличивается уровень риска из-за большого количества действующих на рынке фирм. Вступить в строительную отрасль с монополистической конкуренцией относительно легко, что способствует появлению конкуренции со стороны новых фирм в долговременном периоде.

Степень контроля производителей над ценами ограничена. Потребители отдают предпочтение известным услугам и в ограниченных пределах платят за новые продукты более высокую цену. В условиях монополистической конкуренции соперничество сосредоточивается не только на цене, но и на таких неценовых факторах, как качество строительства, реклама и прочие сопутствующие условия.

S₄ – «Устойчивая неопределенность»

Ситуация характеризуется большим количеством фирм. Каждая из них представляет настолько небольшую часть от общего объема строительства, что изменения в новых технологиях не влияют на расстановку сил в отрасли, а обеспечивают эффективность только для инновационного предприятия. На рынке отсутствуют серьезные препятствия: законодательные, технологические, финансовые, и др., которые могли бы помешать возникновению инновационных фирм и их работе. Уровень риска максимален. Отсутствует важная особенность системы – ее относительная стабильность.

С целью определения уровня энтропии строительный рынок Пензенской области был сегментирован по назначению готовой строительной продукции на рынки промышленного и гражданского строительства. Результаты анализа отражены на рис.2.

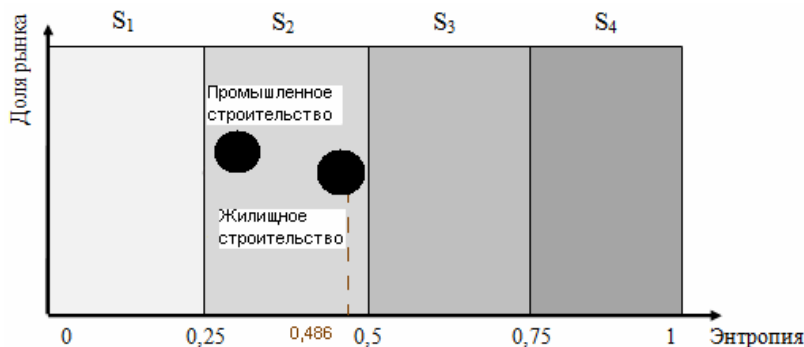


Рис. 2. Строительные рынки Пензенской области

Показатели энтропии строительных рынков Пензенской области на графике энтропии не превышают 0,5, что объясняется затруднением коммерциализации принципиально новых разработок.

Из-за различия особенностей промышленного и жилищного строительства (объемы заказов, масштабность проектов, технология производства) первое близко к зоне устойчивой определенности, второе – к оптимальной определенности.

В результате проведенного анализа выявлено, что в Пензенской области невозможно выделить единый инновационный рынок [3]. Регион состоит из локальных строительных рынков, каждый из которых функционирует в рамках определенной территории – экономического района. Исключением является г. Пенза, в котором существует несколько крупных строительных предприятий и множество мелких.

Принимаемые в настоящее время меры по активизации инновационной деятельности на пензенском рынке позволяют сделать вывод, что по показателю относительной энтропии рынок строительной продукции может перейти в организационно-экономическую ситуацию «Устойчивая определенность». Необходимо акцентировать внимание на жилищное строительство, характеризующееся большими объемами заказов.

Рыночную ситуацию в строительном комплексе Пензенской области можно охарактеризовать следующими показателями (см. таблицу).

Рыночные показатели строительного комплекса Пензенской области

Показатель	Промышленное строительство	Жилищное строительство
Относительная энтропия (H_0)	0,485346	0,61065
Индекс Херфиндаля-Хиршмана (НИ)	0,113109	0,045826
Дисперсия рыночных долей (σ^2)	0,00179	0,000583
Индекс Холла-Тайдмана (НТ)	0,108848	0,048594
Индекс концентрации (CR_k)	0,84193	0,5913

Прогнозные показатели позволяют сделать вывод, что существует резерв инновационного развития строительства в регионе, который необходимо интенсивно использовать.

На основе исследования влияния организационно-экономических факторов на эффективность использования инновационного потенциала строительного комплекса Пензенской области разработаны рекомендации по управлению его резервами.

Для развития инновационной деятельности необходимо эффективно использовать имеющуюся в регионе инновационную инфраструктуру (бизнес-инкубаторы, центры трансфера технологий, центры содействия инновациям и т.д.).

Повышение уровня инновационного развития регионального строительного комплекса возможно за счет сети коучинг-центров, занимающихся обучением управленческого персонала предприятий эффективной презентации своего бизнеса, базовым правилам принятия инвестиционных решений и необходимым навыкам работы с венчурным инвестором.

Система коучинг-центров позволит не только обмениваться опытом и передавать свои знания от менеджеров и руководителей крупных компаний малым и средним фирмам, но и обучить высококлассных специалистов в сфере инвестирования в инновационную деятельность строительных предприятий региона.

Важным фактором инновационного развития строительных предприятий может стать повышение их мобильности. Оно расширит территорию их инновационной деятельности, увеличит объем строительных работ, приведет к снижению затрат на строительство объекта за счет использования местной минерально-сырьевой базы. Кроме того, повышение мобильности позволит получить сопутствующие эффекты: социальный (создание дополнительных рабочих мест, повышение бытовых условий проживания населения, создание социальной инфраструктуры), региональный (за счет расширения эффективных зон деятельности предприятий).

Эффективным направлением инновационного развития стройиндустрии должно стать использование собственной минерально-сырьевой базы.

В настоящее время минерально-сырьевые ресурсы области используются недостаточно эффективно: в низких объемах, без достаточной финансовой отдачи. В то же время они могут работать на благосостояние региона и стать одним из способов удешевления стоимости квадратного метра жилья.

Повышение эффективности инновационного развития строительного комплекса Пензенской области является результатом создания системы управления, координирующей инвестиционные процессы в строительстве.

Создание режима наибольшего благоприятствования процессам формирования, развития и функционирования строительного рынка должно основываться на учете как федерального хозяйственного права, так и всей совокупности региональных особенностей (демографических, социальных, экономических и экологических).

Развитие строительства – важное направление региональной инвестиционной стратегии. Отсюда появляется потребность в новой структуре в составе органов власти, координирующей инвестиционно-строительную деятельность. Существующая структура власти в настоящее время привлекает для этого независимых экспертов.

Разработанные мероприятия обеспечат взаимодействие между инвесторами, производственными предприятиями, организациями научно-технической сферы с целью использования резервов строительного комплекса, и переход экономики региона на инновационный путь развития.

Список литературы

1. Хрусталеv, Б.Б. Формирование инновационной стратегии развития регионального инвестиционно-строительного комплекса [Текст]: моногр. / Б.Б. Хрусталеv, Ю.С. Артамонова, И.В. Пучков. – Пенза: ПГУАС, 2007. – 142 с.
2. Бутковский, А.Г. О единой геометрической теории управления [Текст] / А.Г. Бутковский // Control sciences. –2003 –№1– С. 8–12.
3. Хрусталеv, Б.Б. Инновационная деятельность в строительстве [Текст]: моногр. / Б.Б. Хрусталеv, Ю.С. Артамонова, Т.Е. Мусатова. –Пенза: ПГУАС, 2010.

УДК 330.45

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Старостина Кристина Игоревна,
старший преподаватель кафедры
«Экономика, организация и инвестиции»
Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Беляева,
д.39, кв.34
Тел.: 8 (8412) 557553, 8 963 1078730
E-mail: starostina-kris@yandex.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

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

Starostina Kristina Igorevna,
The senior Lecturer of the department
«Economy, organization and invests».
Adress: 440028, Penza, 39, Belyaeva St.,
ap.34.
Tel.: 8(8412)557553, 89631078730
E-mail: starostina-kris@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ФОНДОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

К.И. Старостина

Представлена разработка экономико-математических моделей воспроизводства основных фондов строительного предприятия, которые раскрывают сущность типов воспроизводства и обеспечивают вариантность подходов к формированию механизма эффективного воспроизводства фондов предприятий строительной отрасли.

Ключевые слова: основные фонды, воспроизводство, экономико-математическая модель, строительные предприятия.

MODELLING OF THE BUILDING ENTERPRISES MAIN FUNDS' REPRODUCTION PROCESS

K.I. Starostina

The article is devoted of economic and mathematical models of building enterprise fixed capital reproduction, which show the essence of reproduction types and ensure various approaches to the mechanism of building industry enterprise funds effective reproduction.

Keywords: main funds, reproduction, economy-mathematical model, construction enterprises.

В настоящее время процесс воспроизводства основных фондов отечественных предприятий характеризуется крайне низкими темпами роста инвестиций в основной капитал, высокой степенью износа и одновременно низким уровнем выбытия основных фондов, недостатком собственных средств предприятий и высокой стоимостью заемного капитала. В этих условиях проблема обновления материально-производственной базы всех отраслей народного хозяйства становится крайне актуальной и является предметом исследования многих ученых.

Стремительный рост уровня износа основных фондов во многих отраслях народного хозяйства России отмечен в строительной отрасли и достиг сегодня отметки 45,5 %. По отдельным видам строительной техники удельный вес машин с истекшим сроком службы составляет 70 % [1]. В современных условиях при эксплуатации средств труда возрастает роль их морального износа, что часто становится препятствием для эффективной деятельности строительного предприятия. Техника и технологии устаревают, оборудование изношено до предела, но на большинстве предприятий не принимаются меры для эффективного воспроизводства основных фондов. Объем инвестиций в основной капитал в условиях кризиса 2008–2009 годов сократился в строительстве на 32,2 % и составил в 2009 году 281,2 млрд руб. [2], что не позволяет осуществлять обновление производственных мощностей предприятий на качественно новой основе.

В последнее десятилетие в научной среде возрос интерес к экономико-математическому моделированию процесса воссоздания фондов, что объясняется желанием получить точные и достоверные цифры об объемах необходимых инвестиций, обеспечивающих простое и расширенное воспроизводство, сроках проведения ремонтов, соотношении амортизационных норм и сроков службы, итогах налоговой оптимизации и прочее. Об этом свидетельствуют результаты исследовательской работы Громовой Н.М., Ивченко И.Ю., Багриновского К.А., Дасковского В.Б., Кукарцева В.В., Гармаевой Е.М., Бобылева В.В. и др. Воспроизводство основных фондов строительных предприятий рассмотрено в работах Моргуновой Т.А., Щедловского Р.В.

Все предлагаемые модели решают определенные задачи и воспроизводят, как правило, процесс воссоздания фондов не целиком, а отдельные его этапы или связи. Дальнейшее изучение процесса воспроизводства основных фондов посредством экономико-математического моделирования представляется актуальным для предприятий строительной отрасли.

Цель исследования – представить возможные варианты воспроизводства основных фондов строительного предприятия в виде конкретных математических формул и системы ограничений с учетом выполнения условия самокупаемости.

Предварительно изучив предмет исследования – процесс воспроизводства основных средств, мы выявили его сущность, основные факторы влияния, произвели типологизацию. Поскольку при моделировании важны лишь существенные черты и факторы воспроизводства, в моделях следует учесть 6 факторов, которые, по мнению экспертов, определяют процесс воспроизводства: цель предприятия и интерес собственника; методы начисления амортизации; загрузку машин, техники, оборудования; срок службы объекта основных средств; государственное регулирование воспроизводства; инфляционное удорожание техники. Важной характеристикой процесса воспроизводства основных фондов является его проявление в трех типах: простом, расширенном и сокращенном.

Примем следующие допущения:

1. Процесс воспроизводства моделируется для предприятий, относящихся к отрасли строительства и расположенных в одном регионе.

2. В качестве объектов рассматриваются лишь объекты основных фондов, относящиеся к активной части.

3. Переоценка основных средств не проводится, в результате чего амортизационные отчисления одинаковы и постоянны.

4. Начисление амортизации ведется линейным методом – наиболее распространенным на практике.

Введем следующие обозначения:

C_{Pi} – первоначальная стоимость i -го объекта основных средств, руб.;

C_{Bi} – стоимость воспроизводства i -го объекта основных фондов, руб.;

$i = 1, n$ – число объектов основных фондов, подлежащих воссозданию;

$t = 1, T$ – время полезного использования i -го средства, он же амортизационный период, лет;

A_{ii} – годовые амортизационные отчисления по i -му объекту основных средств, руб.;

i_d – ставка по депозитному вкладу, в долях единицы;

i_i – индекс инфляционного удорожания i -го основного средства.

Исходя из положения, что простое воспроизводство подразумевает замену основных фондов по истечении срока службы в том же количестве и за счет собственных средств, целевую функцию модели задаем условием самофинансирования: собственных средств (амортизации и прибыли) должно быть достаточно для протекания процесса воспроизводства в таковом режиме. Поскольку $C_{Bi} > C_{Pi}$ в силу инфляционного удорожания, то

$$C_{Bi} = C_{Pi} \cdot i_i. \quad (1)$$

Накопленная амортизация за T лет – $\sum_{t=1}^T A_{it}$ соответствует первоначальной стоимости $C_{\Pi t}$. Предположим, что положительный денежный поток амортизации предприятие действительно формирует на отдельном депозитном счете с целью компенсировать инфляцию. Чтобы задача амортизации – восстановление изношенных средств труда – была выполнена, должно соблюдаться равенство:

$$A_{it} \frac{(i_d + 1)^{Ti} - 1}{i_d} = C_{Bt}, \quad (2)$$

где $A_{it} \frac{(i_d + 1)^{Ti} - 1}{i_d}$ – множитель наращивания аннуитета.

Обозначим темп инфляции за весь период T как произведение частных темпов инфляции техники по годам $\prod_{t=1}^T \Pi_{it}$, тогда целевая функция модели задается условием самофинансирования и описывается уравнением:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right). \quad (3)$$

Учитывая, что в реальных условиях протекания процесса инфляционное удорожание техники превышает уровень депозитной ставки, исследуемую целевую функцию необходимо дополнить слагаемым Π_{Bt} – часть чистой прибыли предприятия, предназначенной для воспроизводства фондов. Тогда формула примет вид:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} + \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right). \quad (4)$$

Таким образом, функция, описывающая модель простого воспроизводства в режиме самофинансирования, имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} + \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} - \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right) = 0. \quad (5)$$

При этом чистой прибыли может хватить на инвестиции в основные фонды ($\Pi > \Pi_B$), а может быть недостаточно. Необходимость простого воспроизводства сопровождается полной загрузкой производственных мощностей предприятия: коэффициент интегральной загрузки ($K_{\text{инт}}$) $\rightarrow 1$. Для предприятий строительной отрасли значения коэффициента интегральной загрузки 0,7–0,9 можно считать нормальными.

Таким образом, в результате решения искомой задачи относительно части прибыли, направляемой на воспроизводство фондов, становится возможным появление двух вариантов В1 и В2 в режиме самофинансирования:

$$\text{В1} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} \\ \sum_{t=1}^T \Pi > \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} \\ 0,7 < K_{\text{инт}} < 1 \end{array} \right.$$

$$B2 \left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} \\ \sum_{t=1}^T \Pi < \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} \\ 0,7 < K_{инт} < 1 \end{array} \right.$$

Модель простого воспроизводства в режиме смешанного финансирования (за счет привлечения внешних источников – заемных средств K) может иметь варианты В3 и В4:

$$B3 \left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} + K = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} \\ \sum_{t=1}^T \Pi < \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} \\ 0,7 < K_{инт} < 1 \\ K_{тл} > 2; K_{occ} > 0,1 \end{array} \right.$$

$$B4 \left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} + K = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} \\ \sum_{t=1}^T \Pi < \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} \\ 0,7 < K_{инт} < 1 \\ K_{тл} < 2; K_{occ} < 0,1 \end{array} \right.$$

Аналогично были разработаны модели для сокращенного и расширенного воспроизводства основных фондов. Исходная функция, описывающая модель расширенного воспроизводства в режиме смешанного финансирования, имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} + \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} + K - \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right) k_i = 0, \quad (6)$$

где k_i – коэффициент увеличения фондов, вычисленный в увязке с планируемыми производственными мощностями в условиях расширения доли рынка и увеличения объемов производства работ строительного предприятия.

Функции, описывающие модель сокращенного воспроизводства в режиме самофинансирования и с учетом привлечения кредитных ресурсов соответственно, имеют вид:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} + \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} - \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right) l_i = 0; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1} + \sum_{t=1}^T \Pi_{Bt} + K - \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T \Pi_{it} \right) l_i = 0, \quad (8)$$

где l_i – коэффициент сокращения фондов, вычисленный в увязке с планируемыми производственными мощностями в условиях уменьшения доли рынка и объемов производства работ строительного предприятия.

Предложенные модели с учетом влияния факторов формируют различные варианты воспроизводства основных фондов строительного предприятия В1-В11, представ-

ленные в матрице (табл. 1), в которой отмечены зоны эффективного воссоздания основных фондов: B1, B3, B5, B7 и B10. Данные варианты могут считаться эффективными в случае, если достигается цель предприятия, увеличиваются показатели фондоотдачи и самофинансирования и/или достигается положительный эффект от привлечения заемных средств. В условиях высокой стоимости заемного капитала наиболее предпочтительными представляются варианты B1, B7 – воспроизводство в режиме самофинансирования и вариант расширенного воспроизводства B5.

Т а б л и ц а 1

Матрица вариантов воспроизводства основных фондов

Целевая функция модели	Условия прибыльности				Условия прибыльности Возможность привлечения капитала
	$\sum_{t=1}^T \Pi \leq 0$	$\sum_{t=1}^T \Pi > \sum_{t=1}^T \Pi_{Br}$	$\sum_{t=1}^T \Pi < \sum_{t=1}^T \Pi_{Br}$	$\sum_{t=1}^T \Pi > \sum_{t=1}^T \Pi_{Br}$	
$\sum_{t=1}^T \Pi_{Br} = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T i_{it} \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1}$					
$\sum_{t=1}^T \Pi_{Br} + K = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T i_{it} \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1}$					$K_{гп} > 2;$ $K_{осс} > 0,1$
$\sum_{t=1}^T \Pi_{Br} + K = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T i_{it} \right) k_i - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1}$					$K_{гп} < 2;$ $K_{осс} < 0,1$
$\sum_{t=1}^T \Pi_{Br} + K = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T i_{it} \right) k_i - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1}$					$K_{гп} > 2;$ $K_{осс} > 0,1$
$\sum_{t=1}^T \Pi_{Br} + K = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T i_{it} \right) k_i - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1}$					$K_{гп} < 2;$ $K_{осс} < 0,1$
$\sum_{t=1}^T \Pi_{Br} = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T i_{it} \right) l_i - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1}$					
$\sum_{t=1}^T \Pi_{Br} + K = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T i_{it} \right) l_i - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1}$					$K_{гп} > 2;$ $K_{осс} > 0,1$
$\sum_{t=1}^T \Pi_{Br} + K = \sum_{i=1}^n \left(C_{\Pi i} \prod_{t=1}^T i_{it} \right) l_i - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T A_{it} (i_d + 1)^{t-1}$					$K_{гп} < 2;$ $K_{осс} < 0,1$
Целевая функция модели	Условия по загрузке основных фондов				
		$K_{инт} < 0,7$		$0,7 \leq K_{инт} < 1$	
				$K_{инт} \rightarrow 1$	

Для апробации разработанных моделей была произведена количественная оценка факторов воспроизводства основных фондов строительных предприятий Пензенской области. Это позволило произвести экспериментальные расчеты по предложенным экономико-математическим моделям (табл. 2).

Установлено, что ООО «Новотех» находится в ситуации B2: при незначительном увеличении объемов работ и загрузке основных производственных фондов в 0,701 пункта, предприятие нуждается в простом воспроизводстве основных средств, однако недостаток собственных средств составляет более 60 %. Предприятие ООО «Макси» находится в условно эффективной зоне B7: собственных средств достаточно для осуществления сокращенного воспроизводства при коэффициенте загрузки около 50 %. Предприятие ООО «Энергосервис» занимает зону B8 на матрице вариантов воспроизводства, когда для сокращенного воспроизводства не хватает собственных средств в размере 38 %.

Расчет параметров моделей и выбор соответствующего варианта

Предприятие	Результаты расчета			Вариант, соответствующий условиям
	сумма чистой прибыли, необходимой для воспроизводства ОФ $\sum_{t=1}^T П_{Вt}$, руб.	сумма прибыли отчетного года + нераспределенная прибыль за период T $\sum_{t=1}^T П$, руб.	коэффициент интегральной загрузки $K_{инт}$	
ООО «Новотех»	13 218 655	4 890 000	0,701	В2
ООО «Энергосервис»	9 980 690,7	6 126 000	0,615	В8
ООО «Макси»	3 860 433	6 015 000	0,551	В7

Такие выводы позволили предложить методические и практические рекомендации для строительных предприятий Пензенской области по реализации воспроизводственных стратегий возможного перехода в зоны эффективного воспроизводства посредством формирования организационно-экономического механизма. ООО «Новотех» предложено рассмотреть вариант привлечения заемных средств при обеспечении кредитоспособности (В3) и принять стратегию по наращиванию собственных источников финансирования капитальных вложений, что могло бы обеспечить переход к варианту воспроизводства В1. Для ООО «Макси» разработана стратегия оптимального сокращения основных фондов и стратегия перехода в зону простого воспроизводства в режиме самофинансирования или смешанного финансирования В1 или В3. Для ООО «Энергосервис» возможны реализации стратегий по переходу в зону В10 с учетом уменьшения объемов основных фондов и в зону В7 – это долгосрочная стратегия, сопряженная с накоплением собственных инвестиционных ресурсов.

Расчеты показали, что реализация практических рекомендаций позволит повысить эффективность воспроизводства основных фондов предприятий: ожидается прирост показателя фондоотдачи на 15–20 %, увеличение коэффициента самофинансирования в ООО «Новотех» и ООО «Макси» до 45 %, в ЗАО «Энергосервис» до 54 %. Экономическая эффективность от внедрения организационно-экономического механизма эффективного воспроизводства основных фондов в деятельность исследуемых предприятий подтверждена актами внедрения. Ожидаемый экономический эффект составит 1,25 млн руб.

Практические рекомендации могут быть использованы строительными и другими предприятиями с учетом отраслевой специфики.

Список литературы

1. Россия в цифрах 2010. Крат. стат. сб./Росстат. [Текст]. – М.: Федеральная служба государственной статистики, 2010.
2. Инвестиции в основной капитал в Российской Федерации в 2009 году [Текст] // Статистический бюллетень. – 2010. – №4(165).

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

PROFESSIONAL TRAINING IN A TECHNICAL HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT

УДК 741/743:37.025

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Ли Николай Геннадьевич,
кандидат педагогических наук,
профессор кафедры «Рисунок, живопись и
скульптура». Докторант.

Адрес: 440071, г. Пенза, пр. Строителей,
д. 37, кв. 56.

Тел.: (8412) 40-81-71

E-mail: Li-N53@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Lee Nikolai Gennadievich,
Candidate of Science in pedagogical, Pro-
fessor of the department

«Drawing, painting and sculpture».

Address: 440071, Penza, 37, Prospect
Stroiteley, ap. 56

Tel.: (8412) 40-81-71

E-mail: Li-N53@mail.ru

ПРОБЛЕМА ВОСПРИЯТИЯ И ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ АКАДЕМИЧЕСКОМУ РИСУНКУ В ВУЗАХ

Н.Г. Ли

Рассматриваются актуальные вопросы психологии познавательного процесса в учебно-изобразительной деятельности. Раскрываются внутренние психические процессы, сдерживающие развитие у студентов познавательной активности в ходе обучения академическому рисунку. Дается обоснование необходимости актуализации знаний психологии профессиональной педагогической деятельности. Предлагаются принципы, методы и приемы обучения рисунку, способствующие развитию и формированию у студентов мыслительных качеств в учебно-познавательном процессе.

Ключевые слова: академический рисунок, процесс обучения в вузе, восприятие в познавательной деятельности, психолого-педагогический аспект, процесс познания, проблема, активизация, познавательная деятельность, обучение.

PERCEPTION PROBLEM AND STUDENTS COGNITIVE ACTIVITY DURING TEACHING THEM ACADEMIC FIGURE IN HIGER SCHOOLS

N.G. Lee

Urgent questions of cognitive psychology education graphic activity are discussed. Inherent mental processes restricting students informative activity development in the course of training are revealed. Realization necessity of professional pedagogical activity psychology knowledge is grounded. The author offers some methods and principles of teaching drawing, and making students think in the process of studying.

Keywords: academic figure, during training in higer schools, perception in cognitive activity, psychology-pedagogical aspect, process of learning, problem, activization, cognitive activity, training.

Одной из приоритетных задач обучения является повышение его качества, которое, несмотря на происходящие преобразования, пока еще не отвечает современным запросам общества. Об этом свидетельствует реальное состояние практики обучения академическому рисунку в вузах, где его качество имеет тенденцию к снижению. Так, например, обучение академическому рисунку во многих вузах по-прежнему ведется на традиционной основе. Все попытки отдельных педагогов-новаторов внести изменения не приводят к существенным результатам. Причин снижения у студентов качества усвоения знаний, умений на занятиях по академическому рисунку действительно предостаточно. В большей степени они связаны с состоянием учебно-познавательной деятельности студентов, так как ее реальное состояние на современном этапе находится на недопустимо низком уровне. В чем же это выражается? Дело в том, что процесс учения, познания на занятиях по академическому рисунку, как и прежде, осуществляется преимущественно на уровне обыденного восприятия (чувственного). Такой подход в принципе противоречит сути познавательной деятельности, хотя бы потому, что познание, в том числе учебное, всегда предполагает не только чувственную, но в большей степени и умственную активность студентов. Данное обстоятельство говорит о том, что в системе традиционного обучения академическому рисунку существуют противоречия между чувственным и умственным познанием, которые служат серьезным препятствием, сдерживающим развитие и формирование мыслительных качеств у студентов.

Проблема восприятия в процессе познавательной деятельности студентов при обучении академическому рисунку издавна вызывает повышенный интерес, ей посвящены многочисленные труды известных художников Возрождения и наших современников. Проблема восприятия – это одновременно и проблема мышления, так как и то, и другое тесным образом взаимосвязаны. Познавательная деятельность, как и учебно-познавательная, всегда предполагают наличие мыслительных процессов. Этой проблеме посвящены многочисленные исследования ученых-психологов и педагогов, однако вопросов в обучении академическому рисунку от этого меньше не стало. В психолого-педагогической литературе вопросы учебно-познавательной деятельности, как правило, рассматриваются с позиции гносеологии и психологии познавательных процессов. Это позволяет более конкретно рассмотреть обозначенную нами проблему в контексте процессуальной деятельности.

Что же представляет собой «ощущение» как психический процесс? В структуре познавательных процессов к чувственным категориям относят «ощущение» и иногда «восприятие», хотя последнее занимает промежуточное положение, находясь между ощущением и мышлением. Ощущение как первоэлемент в структуре познавательных процессов при всей его важности все же имеет ограниченную возможность в постижении объективных знаний об окружающей действительности. Поэтому ощущение занимает в структуре познавательных процессов исходное (начальное) положение. Таким образом, структура познавательных процессов включает три элемента: ощущение – восприятие – мышление. Все три элемента составляют единство познавательных

процессов. Отсюда следует, что ни один из этих элементов в отдельности не способен решать познавательные задачи в полной мере. Это возможно только при тесном взаимодействии всех элементов. К сожалению, то, что происходит в учебно-познавательной деятельности студентов на занятиях по академическому рисунку, никак нельзя назвать благополучным, так как процесс учения студентов основан лишь на ощущениях, т.е. в основном на чувственной категории и лишь иногда на промежуточном элементе – восприятии.

Процесс восприятия в отличие от процесса ощущения несколько шире и подразумевает участие в нем как элементов мышления, так и элементов чувств. Восприятие бывает обыденное (непреднамеренное), т.е. когда воспринимающий получает информацию на чувственном уровне. Например, студент, воспринимая натуру на уровне чувств (ощущений), т.е. непреднамеренно, получает информацию в искаженном виде, субъективно. Иными словами, рисовальщику кажется, что он при таком наблюдении получает объективную информацию. На самом же деле вся информация, получаемая на уровне чувств, как правило, отражается субъективно. Бывает восприятие осмысленное (преднамеренное). Это значит, что воспринимающий в отличие от предыдущего случая получает информацию вполне осознанно с целью понять сущностные характеристики изучаемого объекта, процесса или явления. В этом случае восприятие связано с элементами мышления. Восприятие – это сложный психический процесс, тесно взаимодействующий с различными видами ощущений (зрительное, слуховое, обонятельное, осязательное) и включающий в себя элементы мышления в комбинированном виде. Осмысленное восприятие всегда есть целевая установка, которая позволяет глубже распознать изучаемые объекты и явления. И наоборот, непосредственное восприятие всегда связано с ощущениями, т.е. это процесс чувственного отражения окружающей действительности. Отсюда следует, что при таком восприятии не приходится говорить о наличии в нем мышления. Поэтому без определенной цели восприятия немислим успех в освоении академического рисунка. Здесь многое зависит от того, как организовано наблюдение. Оно развивается в процессе целенаправленных систематических упражнений, благодаря жизненному опыту, знаниям и умению контролировать деятельность психики. Наблюдательность как целенаправленный процесс восприятия не возможна без активного участия мыслительных действий и операций. Поэтому не случайно в обучении академическому рисунку наблюдательности придают особое значение.

Итак, чувственные категории, к которым относятся «ощущения» и «восприятие», закладывают лишь основу познавательного процесса. Без включения в них мышления полноценное учебное познание будет значительно ограничено. Это связано с тем, что функции органов чувств существенно отличаются от функций мышления. Например, если в ощущениях предметы отражают отдельные стороны, признаки, свойства, а в восприятиях – совокупность всех этих качеств, признаков и свойств, то посредством мышления осуществляется такое отражение действительности, которое не поддается познанию на уровне органов чувств.

Мышление, являясь активным процессом отражения объективного мира, находится на высшем уровне познания, направлено на раскрытие сущностных сторон, свойств и признаков изучаемых объектов. Так, например, для грамотного освоения рисунка рисовальщику прежде всего необходимо осмыслить изучаемую натуру, понять, чем обусловлены внешние признаки поверхностей, т.е. заняться анализом и синтезом. Любая проблема человеческой жизни решается с помощью мышления и все попытки решить проблему в учебной или какой-либо другой деятельности с помощью чувств вряд ли будут успешными. Нечто подобное происходит в учебно-познавательной деятельности, когда студенты, полагаясь на чувственное, или обыденное восприятие, пытаются постигать систему предметных знаний, в частности при изучении академического рисунка. К сожалению, до сих пор среди преподавателей существует мнение о приоритете чувственного начала в освоении академического рисунка. При этом очень редко или вовсе не вспоминают о важности развития мышления. Подобные суждения свидетельствуют не только о наличии проблемы в учебном познании, но и

усугубляют ее. Мыслительная активность – это то качество, которого всегда не хватает студенту-рисовальщику в его учебно-изобразительной деятельности.

П.П.Чистяков писал: «Овладение знаниями – вечное занятие... рисование с натуры на плоскости одними глазами, чувствами, талантом, без всякого рассуждения, конечно, есть не более как набивка руки, как говорится, и пользы образовательной от него мало, потому что рисующий не думает, а смотрит, видит и переносит, что и как ему кажется. Здесь в преподавании опущена одна половина искусства, а именно – передавать предмет следует не только, как он вам кажется, а как он есть, как существует в природе. Вот тут человек и не свободен. Тут-то ему и мало одного чувства, таланта, тут требуется и соображение, и мозгами шевельнуть»¹.

Учебно-изобразительный процесс как своеобразный процесс учебного познания должен включать в себя аналитико-синтетическую деятельность. Именно об этом неустанно говорил П.П.Чистяков.

Мышление как высшая категория познания представляет собой способ получения или накопления новых знаний, активную форму интеллектуального и творческого отражения и преобразования человеком окружающей действительности. Мышление, находясь во взаимосвязи с ощущением и восприятием, далеко выходит за пределы чувственного и тем самым существенно расширяет границы познания, чего практически не происходит в традиционном обучении. Мышление имеет свои виды и формы: анализ, синтез, сравнение, обобщение, абстрагирование, конкретизацию.

Анализ – мышление или практическое расчленение предметов изображения с целью раскрытия сущностных характеристик, свойств и признаков, структуры строения, объемно-пространственных характеристик, закономерностей перспективы и светотени.

Синтез – мысленное построение целого из аналитически расчлененных составных элементов.

Сравнение – мысленное сопоставление предметов и их характерных признаков. Сравнивая, рисовальщик устанавливает различия предметов, их сходство между собой, тем самым учится контролировать ход работы над рисунком.

Обобщение – это мысленное объединение схожих по каким-либо признакам, качествам изображаемых предметов.

Абстрагирование – мысленное или практическое отвлечение, понятие, образуемое в результате отвлечения в процессе познания от несущественных сторон рассматриваемого явления с целью выделения свойств, раскрывающих его сущность. Например, рисуя обнаженную фигуру, рисовальщику время от времени приходится отвлекаться от натуры, чтобы не свести работу к обычному срисовыванию, т.е. не стать «пленником» у натуры, а вести работу осмысленно, с пониманием задачи рисунка.

Конкретизация – процесс изображения предметов в конкретной, наглядной форме или процесс, который выступает как операция, обратная обобщению, отвлечению, абстрагированию.

С целью решения исследуемой проблемы автором разработана комплексная модель методики обучения академическому рисунку. Данная модель представляет собой комплексную методическую разработку, созданную впервые. Преимущество данной модели в отличие от традиционной репродуктивной состоит в том, что она предельно рациональна. Это позволяет активизировать процесс мышления у студентов, чего нет в традиционной методике. Кроме того, использование этого метода (методики) в сочетании с традиционным в значительной мере способствует лучшему пониманию студентами анатомических основ, т.е. скрытых конструктивно-анатомических, объемно-пространственных, конструктивно-перспективных, светотональных закономерностей. Данная модель, по сути, основана на геометрально-аналитическом методе обучения академическому рисунку.

Результаты внедрения данного метода в течение ряда лет в профильных вузах, училищах и школах позволяют в целом судить о его эффективности. Однако в ряде

¹ Чистяков, П.П. Письма, записные книжки, воспоминания. М., Л., 1953.

профильных учебных заведений и на графических факультетах результаты обучения оказались неоднозначными. Как показал анализ, такие результаты были обусловлены отсутствием готовности у преподавателей к осуществлению линейно-конструктивного метода обучения академическому рисунку. Это привело к тому, что процесс обучения превращался в обычный традиционный. Профессиональная компетентность преподавателей не всегда соответствовала должному уровню. Причиной отсутствия готовности преподавателей к реализации аналитического метода в обучении явился предыдущий эмпирический опыт рисования, что и сказалось на результатах обучения при использовании данного метода. Используемые в традиционном обучении средства деятельности (способы и приемы рисования), несмотря на их достоинства, не лишены недостатков, в частности иррациональности, что и явилось причиной низкого усвоения материала студентами в учебном процессе. Отсюда следует вывод, что причинами снижения активности студентов на занятиях по академическому рисунку в вузах явились:

- 1) отсутствие в традиционной технологии обучения новых, более продуктивных средств деятельности (методов, принципов и приемов);
- 2) низкий уровень профессионально-художественной и профессионально-педагогической квалификации преподавательского состава;
- 3) консервативный подход к методам обучения академическому рисунку;
- 4) отсутствие дополнительных учебных заданий и упражнений, направленных на развитие абстрактно-логического мышления у студентов;
- 5) отсутствие новой, более рациональной методической разработки.

Все перечисленные компоненты характеризуют общее состояние учебно-познавательной деятельности студентов в процессе обучения академическому рисунку в вузах. Отсюда следует, что усвоение студентами предметных знаний на занятиях по академическому рисунку происходит преимущественно на уровне чувственного познания. В результате осваиваемые студентами рисунки не отвечают профессиональным требованиям высшей школы, что сказывается в целом на качестве профессиональной подготовки выпускников.

Указатель статей, опубликованных в 2010 г.

1. **Аверкин А.Г.** Методика расчета контактных аппаратов для тепловлажностной обработки воздуха на основе числа единиц переноса. – №2(9). – С.122–128.
2. **Аверкин А.Г., Еремкин А.И.** Совершенствование тепловлажностной обработки рабочих сред в градирнях. – №1(8). – С.124–131.
3. **Андреев С.Ю., Демидочкин В.В., Кочергин А.С., Пантюшов И.В., Ширшин И.Б.** Новая технология локальной реагентной очистки сточных вод. – №1(8). – С.107–111.
4. **Артамонова Ю.С., Хрусталева Б.Б., Савченков А.В., Оськина И.В.** Стратегическое развитие регионального строительного комплекса на основе инноваций. – №2(9). – С.162–168.
5. **Баранова Т.И., Гучкин И.С., Сафронов Д.Н.** Несущая способность и жесткость плит, усиленных с двух сторон слоями бетона, соединёнными железобетонными шпонками. – №2(9). – С.84–89.
6. **Бирюзова Е.А., Образцов Я.А.** Решение задач по энергоэффективности путем реконструкции тепловой сети в Санкт-Петербурге. – №2(9). – С.129–133.
7. **Борисова В.Г.** Сакральный смысл декоративного убранства и пространственной организации традиционного русского жилища. – №1(8). – С.138–143.
8. **Бреховских В.В., Кошев Н.А., Савченкова М.В., Савченкова С.Ф.** Особенности поведения теплоемкости нанокompозитных, интерметаллических соединений NiCo_5 , DyCo_5 , YCo_5 . – №2(9). – С.72–75.
9. **Варникова О.В.** Иноязычная подготовка как обязательный компонент профессиональной компетентности будущего специалиста технического профиля (на примере строительных специальностей). – №1(8). – С.148–154.
10. **Вернигорова В.Н., Костин Д.С., Саженко Д.С., Ульянов В.В.** О взаимодействии суперпластификаторов и гиперпластификаторов с водой. – №1(8). – С.26–30.
11. **Вернигорова В.Н., Саженко Д.С., Ульянов В.В.** О механизме щелочного активирования шлаковых цементов. – №2(9). – С.4–8.
12. **Вилкова Н.Г., Еланева С.И., Кругляков П.М., Дорчина О.В.** Влияние структурообразования на свойства пен, стабилизированных твердыми частицами. – №2(9). – С.20–30.
13. **Воронов П.В., Бобрышев А.Н., Лахно А.В., Кувшинов П.И., Туманова Н.Н.** Оценка кинетики фазовых переходов в твердеющих гетерогенных материалах. – №2(9). – С.58–66.
14. **Гарькина И.А., Данилов А.М.** Современная общая методология идентификации систем: моделирование свойств материалов. – №1(8). – С.11–13.
15. **Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В.** Математическое и компьютерное моделирование при синтезе строительных композитов: состояние и перспективы. – №2(9). – С.9–13.
16. **Гринберг Е.И., Монахов В.А.** Автоматизированный расчет шарнирных ферм в смешанной форме МКЭ. – №1(8). – С.53–57.
17. **Гучкин И.С., Панков А.В.** Железобетонные балки, усиленные комбинированной системой из стальных элементов. – №2(9). – С.94–100.
18. **Демьянова В.С., Дярькин Р.А.** Анализ возникновения экологического риска и обеспечение техносферной безопасности автотранспортного комплекса. – №1(8). – С.155–159.
19. **Дудорова Д.Д., Вдовин В.М.** К технико-экономической оценке балочных структур из клееных деревянных элементов. – №1(8). – С.71–76.
20. **Залялов Н.Б., Сотникова А.А., Кошев А.Н.** Разработка информационной 3D-модели корпусов ПГУАС в среде AUTOCAD с применением цветовой дифференциации объектов. – №2(9). – С.90–93.
21. **Зиганшин М.Г.** Расчеты показателей риска инвестиций в теплоисточники с выбросом парниковых газов. – №2(9). – С.101–107.

-
22. **Киреева Л.А.** Классификация туристических маршрутов в системе размещения объектов туризма. – №1(8). – С.144–147.
23. **Киселев Д.Г., Королев Е.В., Прошина Н.А., Альбакасов А.И.** Комплексный способ управления структурой и свойствами серных радиационно-защитных строительных материалов. – №1(8). – С.4–10.
24. **Клочков Е.В.** Новая конструктивная схема рамы здания ТЭЦ. – №1(8). – С.58–63.
25. **Колотовичев Ю.А., Мондрус В.Л.** Методика определения динамической напряженности в сплошной среде при движении поездов метрополитена. – №1(8). – С.34–44.
26. **Королев Е.В., Гришина А.Н.** Модель структуры жидкостекольных композиционных материалов специального назначения. – №2(9). – С.14–19.
27. **Круглова А.Н., Левицкая Л.В., Смирнов В.А.** Массопоглощение модифицированных защитных эпоксидных композитов. – №1(8). – С.20–25.
28. **Кубис В.А., Фильчакина И.Н.** Исследование факела газовой струи для повышения эффективности работы устройства по формированию защитной газозащитной завесы. – №1(8). – С.112–115.
29. **Кузин Н.Я., Горюнова Н.М.** Модели и подходы к массовой оценке недвижимости. – №1(8). – С.80–83.
30. **Леснов В.В., Ерофеев В.Т.** Свойства дисперсно-армированных на микро- и макроуровнях цементных каркасных композитов. – №2(9). – С.38–43.
31. **Ли Н.Г.** Проблема восприятия и познавательная деятельность студентов в процессе обучения академическому рисунку в вузах. – №2(9). – С.175–179.
32. **Логанина В.И., Макарова Л.В., Мокрушина Ю.А.** Синтез окрашенных наполнителей на основе силикатов кальция для сухих строительных смесей. – №2(9). – С.67–71.
33. **Логанина В.И., Макарова Л.В., Тарасов Р.В., Давыдова О.А.** Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками. – №2(9). – С.54–57.
34. **Логанина В.И., Учаева Т.В.** К вопросу о системе контроля качества на предприятиях стройиндустрии. – №1(8). – С.31–33.
35. **Люлькин В.С.** Анализ перспектив развития торговой недвижимости и ее эффективного использования (на примере г. Пензы). – №1(8). – С.91–96.
36. **Макеев А.Н., Левцев А.П.** Импульсные системы теплоснабжения общественных зданий. – №2(9). – С.108–114.
37. **Марьин В.К., Алымов В.А., Алымов С.В.** Использование отстойника НВПЖ большого диаметра для очистки стоков птицефабрики. – №1(8). – С.101–106.
38. **Мондрус В.Л., Шутовский С.Н.** Динамические характеристики зданий регулярной структуры. – №2(9). – С.77–83.
39. **Морозов С.Д.** Великий подвиг великого народа. – №1(8). – С.160–166.
40. **Нуштаева А.В., Шумкина А.А., Кругляков П.М.** Структурообразование в дисперсионной среде эмульсий, стабилизированных твердыми микрочастицами. – №2(9). – С.31–37.
41. **Овчаренков Э.А.** Создание экологически безвредного жилища – важнейшая задача современного строительства. – №1(8). – С.97–100.
42. **Осокина Л.И., Смирнов В.А.** Реализация нелинейной проекции в рамках графического конвейера OPENGL: приложения в архитектурной практике. – №2(9). – С.134–138.
43. **Панчева А.В.** Предложения по архитектурно-типологическим решениям детских садов и начальных школ с учетом демографических колебаний. – №2(9). – С.139–150.
44. **Попов Д.В.** Сопротивление срезу суперкоротких балок. Анализ исследуемых факторов. – №1(8). – С.64–70.

-
45. **Седова А.А., Емельянов Д.В., Осипов А.К., Ерофеев В.Т., Юдин П.В.** Влияние способов активации на химические и физико-химические свойства воды. – №2(9). – С.44–53.
46. **Старостина К.И.** Моделирование процесса воспроизводства основных фондов строительного предприятия. – №2(9). – С.169–174.
47. **Тамбовцева М.Е.** Экспертиза инноваций в индивидуальной застройке. – №1(8). – С.77–79.
48. **Фильчакина И.Н., Еремкин А.И.** Разработка и исследование воздухораспределителя для локальной системы технологического кондиционирования воздуха по типу вытесняющей вентиляции. – №1(8). – С.116–123.
49. **Фокин Г.А., Фолимагина О.В.** Экспериментальное и теоретическое обоснование процесса активации воды ВДП. – №1(8). – С.132–137.
50. **Хрусталеv Б.Б., Саденко С.М., Горбунов В.Н.** Формирование зон деятельности предприятий регионального инвестиционно-строительного комплекса на основе специализации. – №1(8). – С.84–90.
51. **Чемезов И.С.** Анализ изменения организационных ценностей строительных предприятий в процессе развития. – №2(9). – С.158–161.
52. **Чиркина М.А.** Математическое моделирование магнитных нанокмполитов на основе опаловых матриц из упаковки диэлектрических наносфер. – №1(8). – С.14–19.
53. **Шеин А.И., Земцова О.Г.** Схемы и теория гасителей пространственных колебаний сооружений. – №1(8). – С.45–52.
54. **Шульженко С.Н.** Совершенствование организации инженерной подготовки территории застройки комплексами. – №2(9). – С.115–121.