

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель

Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:

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

Адрес редакции:

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

Редакторы: М.А. Сухова
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

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

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

Подписной индекс:
36946 в каталоге Роспечати

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

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

Подписано к печати 25.11.2016.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 24.375. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 750.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО
4(29)/2016**

Содержание

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ 5**

**Макимова И.Н., Ерофеев В.Т.,
Макридин Н.И., Полубарова Ю.В.**
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО
КАМНЯ НА ПРОЦЕССЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ СЖАТИИ 5

Логанина В.И., Пышкина И.С., Чиркина М.А.
ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ
СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ДОБАВОК ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ..... 11

**Макридин Н.И., Максимова И.Н.,
Полубарова Ю.В.**
АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ
КОНСТРУКЦИОННОГО ТЕРМОЛИТОБЕТОНА
ПО ПОЛНОСТЬЮ РАВНОВЕСНЫМ
ДИАГРАММАМ ДЕФОРМИРОВАНИЯ 15

Кара К.А.
К ВОПРОСУ О ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕАВТОКЛАВНОГО
ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА 20

Данилов А.М., Гарькина И.А.
ФОРМАЛИЗАЦИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ
КАЧЕСТВА КОМПОЗИТОВ 28

Алфимова Н.И., Никифорова Н.А.
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕ-
НИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ
НА ОСНОВЕ ВУЛКАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ..... 33

Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Пронин Д.Н.
МОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ
СУПЕР-, ГИПЕРПЛАСТИФИКАТОРА И
УГЛЕРОДНОГО ПОРОШКА 40

Береговой В.А., Снадин Е.В.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ
ЯЧЕИСТОГО СЫРЦА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ.. 50

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ,
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ..... 55**

Овчинников И.И., Чэнь Т., Овчинников И.Г.
ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СВАИ ПРИ СОВМЕ-
СТНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ И ХЛО-
РИДСОДЕРЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 55

© Авторы публикаций, 2016
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2016
© ПГУАС, 2016

Береговой А.М., Береговой В.А., Монастырев П.В., Тараканов О.В. АСПЕКТЫ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ ЗДАНИЙ СТАРОЙ ЗАСТРОЙКИ.....	62	ИНФОРМАЦИОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ	125
Абрашитов В.С., Жуков А.Н., Устинова А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	67	Oleg Figovsky INNOVATIVE ENGINEERING	125
Артюшин Д.В., Шумихина В.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО- АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	71	Данилов А.М., Гарькина И.А. ОТРАСЛЕВЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА	131
Скачков Ю.П., Мищенко В.Н., Снежкина О.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СХЕМ АРМИРОВАНИЯ РОСТВЕРКОВ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ	77	Васин Л.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГИБРИДНОЙ КЛАСТЕРНОЙ ПЛАТФОРМЕ	137
Петрянина Л.Н., Дерина М.А., Монастырев П.В. РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ: НОВАЯ И СЛОЖИВШАЯСЯ ЗАСТРОЙКА83		Кошев А.Н., Сухов И.Ф., Васин Л.А. РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНЫХ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОКОВ	141
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ	87	Кошев А.Н., Сухов И.Ф., Васин Л.А. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА С ПРОТОЧНЫМИ ТРЕХМЕРНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ В РЕЖИМЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ДИФфуЗИОННОГО ТОКА	148
Силаков В.Р., Баклин А.А. СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РАБОТЫ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБЪЕКТА	87	Шалапко Ю.И., Януш М., Камбург В.Г., Глебова Т.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ ПАРЫ ПРИ ЕЕ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	156
Королева Т.И., Степанов С.А., Родионов Ю.В., Иващенко Н.Ю. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	93	Еремкин А.И., Кубис В.А., Кошев А.Н., Салмин В.В., Грейсх Г.И. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА АДСОРБЦИИ ВЛАГИ ИЗ КОНДИЦИОНИРОВАННОГО ВОЗДУХА В ПОРИСТОМ ТЕКСТИЛЬНОМ МАТЕРИАЛЕ.....	163
Гришин Б.М., Гарькина И.А., Вилкова Н.Г., Бикунова М.В., Шенин А.И. ТЕХНОЛОГИИ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.....	100	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	173
Осипова Н.Н., Гришин Б.М., Грейсх Г.И., Салмин В.В. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОЙ СТРУКТУРЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ.....	108	Маслова Л.А., Белякова Е.А., Ишуева А.И. 3D-КАДАСТР: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ.....	173
Аржаева Н.В., Степанов С.А., Тараканов О.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	113	Мебадури З.А., Учасва Т.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	178
АРХИТЕКТУРА	119	Жегера К.В. ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО ПРОДУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОАО «ЖБК-1» (Г. ПЕНЗА).....	184
Борисов С.В. РЕКОНСТРУКЦИЯ ИКОНОСТАСА ДОМОВОГО ХРАМА ТВЕРСКОГО ИМПЕРАТОРСКОГО ДВОРЦА	119	Указатель статей, опубликованных в 2016 г.....	190

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	Beregovoy A.M., Beregovoy V.A., Monastyrev P.V., Taracanov O.V. ASPECTS OF THERMAL PROTECTION OF OLD BUILDINGS	62
Maksimova I.N., Erofeev V.T., Makridin N.I., Polubarova Yu.V. INFLUENCE OF CEMENT STONE STRUCTURE ON DEFORMATION AND DAMAGE PROCESSES UNDER COMPRESSION.....	5	Abrashitov V.S., Zhukov A.N., Ustinova A.V. DEFINITION OF TECHNICAL STATE CATEGORIES OF BUILDINGS AND STRUCTURES.....	67
Loganina V.I., Pyshkina I.S., Chirkina M.A. CRACK RESISTANCE OF COATINGS BASED ON LIME DRY MIXES USING ADDITIVES CALCIUM SILICATE	11	Artyushin D.V., Shumikhina V.A. EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL RESEARCHES OF KNOTS OF INTERFACE OF PIPE-CONCRETE CONSTRUCTIONS....	71
Makridin N.I., Maksimova I.N., Polubarova Yu.V. ANALYSIS OF MECHANICAL BEHAVIOR OF STRUCTURAL TERMOLITHO- CONCRETE IN EQUILIBRIUM DEFORMATION DIAGRAMS	15	Skachkov Y.P., Mishchenko V.N., Snezhkina O.V. DEFINITION OF EFFECTIVE PATTERNS OF REINFORCEMENT OF RAFT FOUNDATIONS PILE FOUNDATIONS	77
Kara K.A. TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF NON-AUTOClave CELLULAR CONCRETE.....	20	Petryanina L.N., Derina M.A., Monastyrev P.V. RECONSTRUCTION OF URBAN ENVIRONMENT: NEW AND EXISTING BUILDINGS.....	83
Danilov A.M., Garkina I.A. FORMALIZATION OF KINETIC PROCESSES AND GENERALIZED QUALITY CRITERION OF COMPOSITES.....	28	ENGINEERING SYSTEMS.....	87
Alfimova N.I., Nikiforova N.I. OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF MANUFACTURE OF COMPOSITE BINDERS BASED ON VOLCANIC RAW MATERIALS	33	Silakov V.R., Bucklin A.A. REMOTE MONITORING OF LOCAL OBJECTS I OF SOLAR HEATING SYSTEM	87
Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Pronin D.N. MODIFICATION OF CEMENT STONE WITH COMPLEX ADDITIVE BASED ON SUPERPLASTICIZER AND CARBON POWDER.....	40	Koroleva T. I., Stepanov S.A., Rodionov V.J., Ivashchenko N.J. EFFICIENCY OF SOLAR COLLECTORS FOR HEATING OF BUILDINGS IN THE PENZA REGION	93
Beregovoy V.A., Snadin E.V. FORECASTING DEFORMATIONS OF CELLULAR RAW BRICKS DURING DRYING PROCESS.....	50	Grishin B.M., Garkina I.A., Vilkova N.G., Bikunova M.V., Shein A.I. TECHNOLOGIES OF NATURAL WATER TREATMENT WITH THE USE OF VORTEX MIXING DEVICES.....	100
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	55	Osipova N. N., Grishin B.M., Greysoukh G.I., Salmin V.V. BASIS FOR THE PARAMETERS OF GAS DISTRIBUTION SYSTEMS AT UNEVEN STRUCTURE OF CONSUMPTION	108
Ovchinnikov I.I., Chen T., Ovchinnikov I.G. PROBABILISTIC MODELING OF REINFORCED CONCRETE PIER UNDER THE COMBINED EFFECT OF THE LOAD AND THE CHLORIDE ENVIRONMENT	56	Arzhaeva N.V., Stepanov S.A., Tarakanov O.V. TECHNOLOGICAL SOLUTIONS ON IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF DISTRICT HEATING SYSTEMS	113

ARCHITECTURE.....	119	Shalapko Y.I., Janusz M., Kamburg V.G., Glebova T.A.	MODELING THE PROCESS OF POSITIONING CONTACT PAIR AT ITS DYNAMIC LOADING.....	156
Borisov S.V.				
RECONSTRUCTION OF THE HOUSE CHURCH ICONOSTASIS IN TVER IMPERIAL PALACE	119			
INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATIONS.....	125	Eremkin A.I., Kubis V.A., Koshev A.N., Salmin V.V., Greisuh G.I.	MATHEMATICAL MODELS AND METHODS OF CALCULATION ADSORPTION MOISTURE FROM THE CONDITIONED AIR IN THE POROUS TEXTILE MATERIAL	164
Oleg Figovsky				
INNOVATIVE ENGINEERING.....	125			
Danilov A.M., Garkina I.A.			ECONOMICS AND MANAGEMENT..	173
SECTORAL ASPECTS OF THE SYSTEM ANALYSIS.....	131			
Vasin L.A.		Maslova L. A., Belyakova E. A., Isaeva A. I.	3D-CADASTRE: STATUS AND PROSPECTS OF IMPLEMENTATION	173
THE USE OF A MODULAR NUMBER SYSTEM FOR DISTRIBUTED COMPUTING ON HYBRID CLUSTER PLATFORM	137			
Koshev A.N., Sukhov I.F., Vasin L.A.		Mebaduri Z.A., Uchaeva T.V.	I IMPROVING THE EFFICIENCY OF BUILDING ENTERPRISES ON THE BASIS OF MODERN METHODS OF ORGANIZATION AND TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CONSTRUCTION	178
CALCULATION OF EFFECTIVE CONNECTION OF REACTORS FOR PURIFICATION OF ELECTROPLATING WASTEWATER	141			
Koshev A.N., Sukhov I.F., Vasin L.A.		Zhegera Ch.V.	ASSESSMENT OF THE COMPETITIVENESS OF CONSTRUCTION COMPANY AND ITS PRODUCTS ON THE EXAMPLE OF LLC «CONCRETE PLANT-1» (Penza).....	184
CALCULATION OF PARAMETERS OF OPERATION OF THE REACTOR WITH IN 3D FLOW ELECTRODE IN LIMITING DIFFUSION CURRENT MODE	148			

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.327:539.4

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

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

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

Полубарова Юлия Владимировна,
аспирант

*Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева*
430005, Республика Мордовия, г. Саранск,
ул. Большевистская, 68,
тел. (8342) 48-25-64

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

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

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

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

Polubarova Julija Vladimirovna,
Postgraduate student

*Mordovian State University
named after N.P. Ogarev*
430005, Republic of Mordovia, Saransk,
68, Bolshevistskaya St.,
tel.: (8342) 48-25-64

Erofeev Vladimir Trofimovich,
Doctor of Sciences, Head of the department
«Building materials and technology»

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ НА ПРОЦЕССЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ СЖАТИИ

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

Экспериментально определены прочностные и структурные характеристики цементного камня при кратковременном нагружении. Дана сравнительная оценка деформационных особенностей цементного камня разной структуры на диаграмме сжатия.

Ключевые слова: цементный камень, структура, водо-цементное отношение, прочность, упругие и пластические деформации, модуль упругости, коэффициент Пуассона, объемные относительные деформации, упругая характеристика, величина пластичности

INFLUENCE OF CEMENT STONE STRUCTURE ON DEFORMATION AND DAMAGE PROCESSES UNDER COMPRESSION

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

Experimentally determined strength and structural characteristics of cement stone under short-term loading. A comparative assessment of the deformation characteristics of cement stone of different structures on the compression diagram is given.

Keywords: cement stone, structure, water-cement ratio, strength, elastic and plastic deformation, elastic modulus, Poisson's ratio, relative volumetric deformation, elastic characteristic, value of plasticity

Современная тенденция использования в строительстве бетонов нового поколения, то есть более высокопрочных бетонов, отличающихся высокими реотехнологическими свойствами цементных систем, повышенной плотностью, однородностью и прочностью матричной фазы за счет модифицирования ее структуры химическим пластифицирующими добавками с высоким водоредуцирующим эффектом, обуславливают необходимость более детального изучения механического поведения цементного камня разной структуры и прочности с позиций механики деформируемого твердого тела с оценкой деформационных эффектов на диаграмме нагружения, позволяющих судить о его конструкционной прочности как комплексной механической характеристике, включающей сочетание критериев прочности, надежности и долговечности, и позволяют получить условия оптимизации состояния по тем или иным параметрам.

В данных условиях структуру цементного камня при относительно невысоких значениях В/Ц отношения можно, по образному выражению В.Н. Юнга, квалифицировать как «микробетон», считая, однако, что «заполнителями» в нем служат негидратированные остатки цементных частиц – ядра, а вяжущим являются окаймляющие их значительно менее плотные реакционные каемки, состоящие из новообразований, постепенно упрочняющихся с течением времени [1], что находится в полном соответствии с представлениями [2–4] о зависимости степени гидратации цементного зерна от водоцементного фактора.

Нами были изучены деформационные особенности и структурные изменения цементного камня разной структуры и прочности в процессе его механического нагружения при осевом сжатии.

Для изучения деформативных свойств и прочности цементного камня при осевом сжатии был использован бездобавочный портландцемент активностью 41,5 МПа, нормальной густоты, равной 0,26. Минералогический состав цемента, %: C_3S – 56; C_2S – 19; C_3A – 13; C_4AF – 12. Начало схватывания – 3 часа. Конец схватывания – 4 часа 20 минут. Характеристики цемента были определены в соответствии с требованиями ГОСТ 310.1–76 – 310.3–76 и ГОСТ 310.4–81.

Было изготовлено и испытано две серии образцов из цементного камня с В/Ц отношением, равным 0,25 и 0,31. Каждая серия образцов состояла из шести балочек размером 40×40×160 мм. Приготовление смеси и изготовление образцов-балочек производили по методике ГОСТ 310.4–81.

После суточного хранения в формах над водой образцы распалубливали и помещали на 27 суток в ванну с водой при температуре 20–22 °С. Затем образцы в течение 30 суток хранили в естественных лабораторных условиях.

Механические испытания образцов на осевое сжатие проводили в возрасте 60–65 суток с помощью пресса УММ-50. Для замера деформаций использовали измеритель АИД-1М. Для этого на каждой грани призмы в средней части ее высоты наклеивали крестом 50- и 30-миллиметровые тензодатчики омического сопротивления, соответственно, в продольном и поперечном направлениях.

Определение структурных, деформационных и прочностных характеристик опытных образцов при кратковременном нагружении производили в соответствии с рекомендациями [5, 6]. Осевая сжимающая статическая нагрузка прикладывалась ступенями в 0,1 ожидаемой призмной прочности вплоть до разрушения. На каждой

степени нагружения проводились тензометрические измерения упруго-мгновенных и пластично-мгновенных продольных и поперечных деформаций цементного камня автоматическим измерителем деформаций АИД-1М.

На основании обработки всех тензометрических измерений определяли значения предельной сжимаемости ε_1 , предельной поперечной растяжимости ε_2 , коэффициента поперечной деформации $\nu = \varepsilon_2/\varepsilon_1$, его приращения $\Delta\nu = \Delta\varepsilon_2/\Delta\varepsilon_1$, объемного относительного изменения цементного камня при осевом сжатии $\theta = \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2$, приращения объема $\Delta\theta = \Delta\varepsilon_1 - 2\Delta\varepsilon_2$, и по ним оценивали границу появления разуплотнения структуры цементного камня и развития микротрещин, т.е. уровни расположения параметрических точек R_t^0 и R_t^ν на диаграмме нагружения образцов, определяли также продольные относительные упруго-мгновенные деформации $\varepsilon_{1УМ}$, продольные относительные деформации пластичности $\varepsilon_{1ПМ}$, поперечные относительные упруго-мгновенные деформации $\varepsilon_{2УМ}$ и поперечные относительные деформации пластичности $\varepsilon_{2ПМ}$, модуль деформации $E^i = \sigma^i/\varepsilon_1^i$, упругую характеристику $\mu_y^i = E^i/R_{\text{ПР}}$, коэффициент упругости $\xi = \sigma_{1УМ}^i/\varepsilon_1^i$, величину пластичности $\varphi = \varepsilon_{1ПМ}^i/\varepsilon_{1УМ}^i$.

В табл. 1 и 2 приведены средние численные значения прочностных, деформационных и структурных параметров опытных образцов цементного камня сравниваемых серий.

Сравнительный анализ экспериментально полученных механических характеристик цементного камня, приведенных в табл. 1 и 2, позволяет сформулировать ряд положений о влиянии структуры и прочности на механическое поведение цементного камня на диаграмме нагружения.

Прежде всего отметим, что расчетная плотность цементного камня при В/Ц=0,25 составляла 2182 кг/м^3 , а средняя призменная прочность $R_{\text{ПР}} = (140,6 \pm 8,1) \text{ МПа}$. Увеличение В/Ц отношения до значения 0,31 приводило к снижению $R_{\text{ПР}}$ до $(105 \pm 5,6) \text{ МПа}$, то есть на 25,3 %, а расчётная плотность уменьшалась до 2070 кг/м^3 , то есть на 5,4 %.

Особого внимания заслуживают деформационные особенности цементного камня на диаграмме нагружения. Так, цементный камень с прочностью 140,6 МПа показал предельную сжимаемость ε_1 перед разрушением 7,08 ‰, а с прочностью 105 МПа – соответственно, 6,42 ‰, что меньше на 9,4 %. При этом модуль упругости цементного камня с $R_{\text{ПР}} = 140,6 \text{ МПа}$ возрастает с ростом деформаций до относительного уровня напряжения $\eta = 0,32$ (прирост модуля достигает 10 %), а для цементного камня с $R_{\text{ПР}} = 105 \text{ МПа}$ прирост модуля достигает 18,1 % при $\eta = 0,29$. Таким образом, в процессе деформирования цементного камня сравниваемых серий происходит ужесточение его структуры до указанных выше относительных уровней напряжения. Вместе с тем следует отметить противоречивое ужесточение структуры сравниваемых серий образцов цементного камня с В/Ц отношением 0,25 и 0,31, микроструктура которых отличается соответственно практически полным отсутствием и небольшим наличием гелевой пористости, что, вероятно, и лежит в основе разной величины ужесточения дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня.

Необходимо отметить и величину проявления продольной относительной деформации пластичности $\varepsilon_{1ПМ}$ сравниваемых серий образцов цементного камня на уровне напряжений максимального ужесточения структур. На образцах с $R_{\text{ПР}} = 140,6 \text{ МПа}$ она составляла 10,75 % от ε_1 , а на образцах с $R_{\text{ПР}} = 105 \text{ МПа}$ – 1,77 %. На максимальном уровне напряжений $\varepsilon_{1ПМ}$ сравниваемых серий составляли, соответственно, 28,2 и 30,4 % от ε_1 .

Т а б л и ц а 1

Механические характеристики цементного камня при В/Ц=0,25 и $R_{пр} = (140,6 \pm 8,1)$ МПа

$\sigma / R_{пр}$	$\varepsilon_{1ПМ}, \%$	$\varepsilon_{1УМ}, \%$	$\varepsilon_1, \%$	$\varepsilon_{2ПМ}, \%$	$\varepsilon_{2УМ}, \%$	$\varepsilon_2, \%$	ν	$\Delta\nu$	$\theta, \%$	$\Delta\theta, \%$	μ_y^i	ξ	$E^i \cdot 10^{-2},$ МПа	Φ
0,08	0	0,51	0,51	0	0,115	0,115	0,225	0,225	0,28	0,28	157	1,0	220,6	0
0,16	0,04	0,92	0,96	0	0,22	0,22	0,229	0,233	0,52	0,24	167	0,958	234,4	0,043
0,24	0,12	1,31	1,43	0,005	0,325	0,33	0,232	0,237	0,77	0,245	168	0,916	236,8	0,092
0,32	0,2	1,66	1,86	0,01	0,435	0,445	0,24	0,267	0,97	0,20	172	0,895	242,6	0,117
0,4	0,29	2,1	2,39	0,03	0,545	0,575	0,245	0,265	1,2	0,23	171	0,878	239,9	0,138
0,48	0,36	2,54	2,9	0,045	0,665	0,71	0,246	0,248	1,47	0,275	166	0,877	233,5	0,14
0,56	0,58	2,94	3,52	0,065	0,8	0,86	0,244	0,238	1,8	0,33	159	0,835	224,0	0,197
0,64	0,79	3,34	4,13	0,08	0,92	1,0	0,243	0,233	2,12	0,32	155	0,809	218,4	0,235
0,72	1,0	3,8	4,8	0,11	1,05	1,16	0,24	0,222	2,50	0,375	150	0,789	211,2	0,267
0,8	1,37	4,26	5,63	0,16	1,15	1,31	0,232	0,187	3,02	0,52	142	0,756	200,0	0,322
0,88	1,8	4,83	6,63	0,22	1,31	1,53	0,252	0,229	3,56	0,545	133	0,728	186,7	0,373
0,92	2,0	5,08	7,08	0,24	1,38	1,62	0,23	0,202	3,81	0,25	130	0,721	183,5	0,388
1,0	—	—												

Т а б л и ц а 2

Механические характеристики цементного камня при В/Ц=0,31 и $R_{пр} = (105 \pm 5,6)$ МПа

$\sigma / R_{пр}$	$\varepsilon_{1ПМ}, \%$	$\varepsilon_{1УМ}, \%$	$\varepsilon_1, \%$	$\varepsilon_{2ПМ}, \%$	$\varepsilon_{2УМ}, \%$	$\varepsilon_2, \%$	ν	$\Delta\nu$	$\theta, \%$	$\Delta\theta, \%$	μ_y^i	ξ	$E^i \cdot 10^{-2},$ МПа	Φ
0,095	0	0,56	0,56	0	0,07	0,07	0,126	0,126	0,42	0,42	172	1,0	180,2	0
0,19	0	0,945	0,945	0	0,18	0,18	0,19	0,282	0,585	0,17	202	1,0	211,6	0
0,287	0,025	1,385	1,14	0,03	0,31	0,34	0,238	0,333	0,73	0,16	203	0,982	212,8	0,018
0,38	0,1	1,82	1,92	0,06	0,40	0,46	0,24	0,245	1,0	0,26	198	0,948	208,3	0,055
0,475	0,2	2,26	2,46	0,075	0,52	0,595	0,242	0,252	1,27	0,27	194	0,918	203,7	0,089
0,57	0,36	2,7	3,05	0,12	0,63	0,75	0,244	0,252	1,55	0,29	187	0,882	196,7	0,134
0,65	0,575	3,12	3,7	0,16	0,76	0,92	0,246	0,256	1,86	0,32	180	0,844	189,4	0,184
0,76	0,82	3,6	4,4	0,21	0,9	1,1	0,25	0,27	2,2	0,32	173	0,814	181,8	0,229
0,886	1,19	4,05	5,24	0,33	1,06	1,39	0,265	0,345	2,46	0,26	164	0,773	171,8	0,294
0,903	1,57	4,3	5,85	0,425	1,145	1,57	0,268	0,295	2,7	0,25	155	0,732	162,4	0,367
0,95	1,95	4,5	6,42	0,59	1,23	1,82	0,283	0,439	2,78	0,07	148	0,696	155,8	0,436
1,0	—	—												

Анализ численных значений коэффициентов υ и $\Delta\upsilon$ на всех этапах нагружения, отражающих показатели податливости цементного камня к деформациям сравниваемых серий образцов, показывает практически одинаковые значения коэффициента υ на этапах нагружения и несколько большие значения $\Delta\upsilon$, соответственно, для образцов с $R_{\text{пр}} = 105$ МПа.

Что касается объемного относительного изменения цементного камня θ и $\Delta\theta$ сравниваемых серий цементного камня, то следует отметить, что на всем диапазоне нагружения фиксировали только уменьшение объема. При этом большие численные значения уменьшения объема показали образцы с $R_{\text{пр}} = 140,6$ МПа. В этой связи параметрические точки R_{T}^0 и R_{T}^{υ} не фиксировались, а характер разрушения образцов обеих серий был весьма хрупкий.

Оценивая численные значения коэффициентов упругости ξ , величин пластичности φ и упругих характеристик μ_{y}^i опытных образцов, следует подчеркнуть, что образцы с $R_{\text{пр}} = 105$ МПа и $V/C=0,31$ практически на всем диапазоне нагружения показали большие значения коэффициента упругости и меньшие численные значения величины пластичности относительно сравниваемых образцов с прочностью $R_{\text{пр}} = 140,6$ МПа. Лишь на последнем этапе нагружения были зарегистрированы противоположные показания коэффициентов ξ и φ .

Из анализа численных значений упругой характеристики μ_{y}^i сравниваемых серий образцов следует, что более высокие значения упругой характеристики на всем диапазоне нагружения показали образцы с $R_{\text{пр}} = 105$ МПа, несмотря на то, что образцы с $R_{\text{пр}} = 140,6$ МПа показали на 14 % более высокое значение модуля упругости, что, вероятно, также обусловлено различием количества и качества порового пространства цементного камня с неполной гидратацией зерен цемента при $V/C=0,25$ и $V/C=0,31$.

В заключение следует отметить, что совместный анализ деформационных особенностей и структурных изменений цементного камня на диаграмме нагружения с позиций деформируемого твердого тела и полученные при этом новые материаловедческие зависимости свойств позволяют более надежно судить о механическом поведении матричной фазы цементного композита и на этой основе осуществлять условия оптимизации структуры и состояния цементных систем по тем или иным параметрам конструкционной прочности.

Список литературы

1. Ахвердов, И.Н. Теоретические основы бетоноведения / И.Н. Ахвердов. – Минск: Высшая школа, 1991. – 188 с.
2. Пауэрс, Т.К. Физическая структура портландцементного теста: пер. с англ. / Т.К. Пауэрс; под ред. Х.Ф.У. Тейлора // Химия цементов. – М.: Стройиздат, 1969. – С. 300–319.
3. Невилль, А.М. Свойства бетона: пер. с англ. / А.М. Невилль. – М.: Стройиздат, 1972. – 344 с.
4. Райхель, Б. Бетон: в 2-х ч. Ч. 1. Свойства, проектирование, испытание / Б. Райхель, Д. Конрад: пер. с нем. – М.: Стройиздат, 1979. – 111 с.
5. Методические рекомендации по определению прочностных и структурных характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружении. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1976. – 56 с.
6. ГОСТ 24452–80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.

References

1. Achverdov, I.N. Theoretical basis of concrete studies betonovedeniya / I.N. Achverdov. – Minsk: Vyscschaja schkola, 1991. – 188 p.
2. Pawks, T.K. The physical structure of Portland cement mortar: trans. from English / T.K. Pawks; ed. H.F.U. Taylor // Cements Chemistry. – M.: Stroyizdat, 1969. – P. 300–319.
3. Nevill, A.M. Properties of concrete: trans. from English / A.M. Nevill. – M.: Stroyizdat, 1972. – 344 p.
4. Rayhel, B. Concrete: 2 parts. Part 1. Properties, design, testing / B. Rayhel, D.Konrad; trans. from German. – M.: Stroyizdat, 1979. – 111 p.
5. Guidelines for the determination of strength and structural characteristics of concrete under short and long-term loading. – M.: NIIZhB Gosstroja SSSR, 1976. – 56 p.
6. GOST 24452–80. Concretes. Methods for determining the prism strength, elastic modulus and Poisson's ratio.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

Пышкина Ирина Сергеевна,
старший преподаватель кафедры
«Информационно-вычислительные системы»
E-mail: glazycheese@gmail.com

Чиркина Марина Александровна,
доцент кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: glazycheese@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Pyshkina Irina Sergeevna,
Senior Lecturer of the department
«Information and Computing Systems»
E-mail: glazycheese@gmail.com

Chirkina Marina Aleksandrovna
Associate Professor of the department
«Information and Computing Systems»
E-mail: glazycheese@gmail.com

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВОК ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ

В.И. Логанина, И.С. Пышкина, М.А.Чиркина

Представлена рецептура известковой сухой строительной смеси, содержащей синтезированные гидросиликаты кальция. Приведено сравнение свойств покрытия на основе составов, содержащих гидросиликаты кальция, синтезированных в присутствии диатомита и без него. Приведены сведения о напряженном состоянии покрытий в процессе отверждения. Показано, что в покрытии на основе состава с добавкой гидросиликатов кальция, синтезированных с применением диатомита, наблюдаются наибольшие значения внутренних напряжений. Дана оценка модуля упругости, когезионной прочности и трещиностойкости известковых покрытий на основе разработанной сухой строительной смеси.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, покрытия, трещиностойкость, внутренние напряжения, прочность

CRACK RESISTANCE OF COATINGS BASED ON LIME DRY MIXES USING ADDITIVES CALCIUM SILICATE

V.I. Loganina, I.S. Pyshkina, M.A. Chirkina

Submitted a dry lime mix containing synthetic calcium silicate. The comparison of the properties of coatings based on formulations containing calcium hydrosilicates synthesized in the presence of diatomaceous earth without it. The information about the busy state of the coatings during the curing process is given. It is shown that the coating composition based on calcium hydrosilicate additive synthesized using diatomite highest possesses values of the internal stresses. The estimation of the modulus of elasticity of cohesive strength and fracture toughness of lime based coatings on the basis of developed dry construction mix is presented.

Keywords: dry mixes, coating crack resistance, fracture, internal stress, strength

Для реставрации зданий исторической застройки, а также отделки вновь возводимых объектов находят применение известковые составы [1]. С целью регулирования свойств отечественных сухих строительных смесей (ССС) на известковом вяжущем и покрытий на их основе в их рецептуру вводят специальные модифицирующие

добавки, в основном поступающие к нам из-за рубежа, что значительно увеличивает себестоимость ССС.

Проведенные ранее исследования [2, 3] доказали эффективность применения гидросиликатов кальция, синтезированных с применением диатомита в качестве модифицирующей добавки, регулирующей структурообразование известковых ССС.

Разработана рецептура известковой ССС, включающая: известь-пушонку, кварцевый песок фракций 0,63–0,315 мм и 0,315–0,16 мм в соотношении 80:20, гидросиликаты кальция, синтезированные в присутствии диатомита, пластификатор Кратасол ПФМ, релаксифицируемый порошок Neolith P 4400 и гидрофобизатор Zincum 5.

Цель дальнейших исследований заключалась в оценке трещиностойкости покрытий на основе разработанной ССС. Для сравнения изготавливались образцы, приготовленные с применением добавки гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита [4]. Готовились составы с водоизвестковым отношением В/И=1,2.

В работе применяли гашеную известь (пушонка) с активностью 86 %, диатомит Инзенского месторождения.

Оценка трещиностойкости известковых покрытий оценивалась, исходя из условий:

$$\begin{aligned} \sigma &< R_{kog}, \\ \varepsilon_{yc} &< \varepsilon_{пр}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ε_{yc} – усадочные деформации, мм/мм; $\varepsilon_{пр}$ – предельная растяжимость, мм/мм; σ – внутренние напряжения, МПа; R_{kog} – предел прочности при растяжении, МПа.

Усадочные деформации определялись с помощью оптического компаратора ИЗА-2. Испытание на растяжение (когезионная прочность) проводили по ГОСТ 18299-72 на разрывной машине ИР 5057-50. Расчёт когезионной прочности проводили по результатам испытания не менее четырех образцов каждого состава.

Напряженное состояние отделочного покрытия оценивалось по следующей методике. На диск из алюминиевой фольги диаметром 120 мм и толщиной 0,01 мм наносили отделочные составы толщиной 8 мм. На свободной стороне диска наклеивался тензодатчик с базой 10 мм, показания которого фиксировались микропроцессорной многоканальной тензометрической системой ММТС–64.01. Величина напряжений определялась по формуле

$$\sigma_0 = 2 \cdot \frac{(1 - \mu_1) \cdot h_2}{h_1} \cdot E \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

где μ_1 – коэффициент Пуассона; h_1 – толщина отделочного слоя, м; h_2 – толщина подложки, м; E – модуль упругости подложки, МПа; ε – относительная деформация подложки.

На рис.1 представлены кривые изменения внутренних напряжений в процессе отверждения отделочного слоя.

Из рис. 1 видно, что в покрытии на основе состава с добавкой гидросиликатов кальция, синтезированных с применением диатомита, наблюдаются наибольшие значения внутренних напряжений, максимальная величина которых составила $\sigma=0,021$ МПа (рис. 1, кривая 1), в то время как у покрытия с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированных без диатомита, – 0,018 МПа (рис. 1, кривая 2).

На рис. 2 представлены графики изменения усадочных деформаций покрытий на основе разработанных составов.

Установлено, что добавление в рецептуру ССС модифицирующих добавок на основе гидросиликатов кальция способствует снижению усадочных деформаций. Так, у состава с добавкой гидросиликатов кальция, синтезированных без диатомита, после 98 суток твердения значение усадочных деформаций составило $\varepsilon_{yc}=0,026$ % (рис. 2, кривая 2), в то время как у состава с добавкой гидросиликатов кальция, синтезированных с применением диатомита, $\varepsilon_{yc}=0,024$ % (рис. 2, кривая 1).

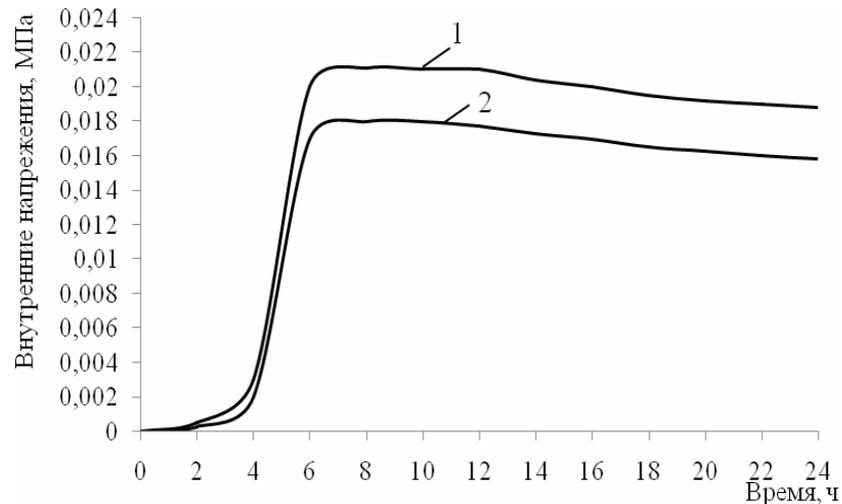


Рис. 1. Изменение внутренних напряжений в процессе твердения отделочного слоя:
 1 – известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита; 2 – известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита

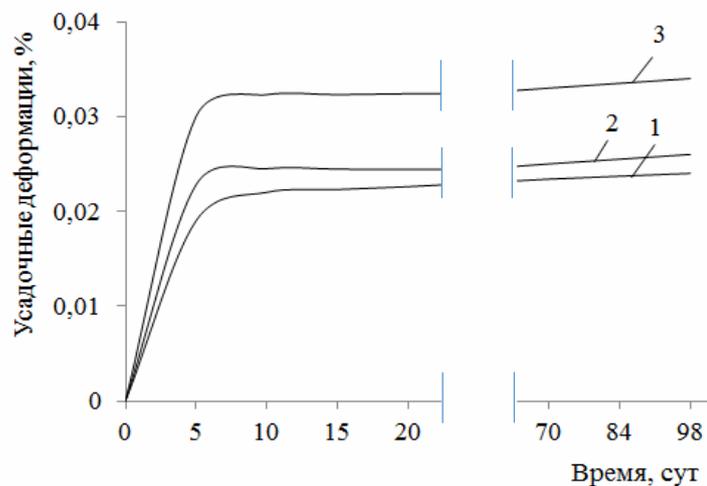


Рис. 2. Кинетика усадки покрытий на основе отделочных составов:
 1 – известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита; 2 – известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита; 3 – контрольный состав (без добавок гидросиликатов кальция)

Дополнительно был проведен анализ когезионной прочности покрытий. Когезионная прочность оценивалась по показателю прочности при растяжении R_{kog} .

Модуль упругости вычислялся по диаграмме «напряжение – деформация» по тангенсу угла наклона к оси абсцисс касательной, проведенной к начальному прямолинейному участку диаграммы (рис. 3).

Анализ приведенных на рис. 3 данных показал, что когезионная прочность и модуль упругости у известковых составов с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита, выше и составляют $R_{kog}=0,39$ МПа и $E_{упр}=50$ МПа (рис. 3, кривая 1), а у известковых составов с добавкой на основе гидросиликатов кальция без применения диатомита $R_{kog}=0,35$ МПа и $E_{упр}=42,5$ МПа (рис. 3, кривая 2).

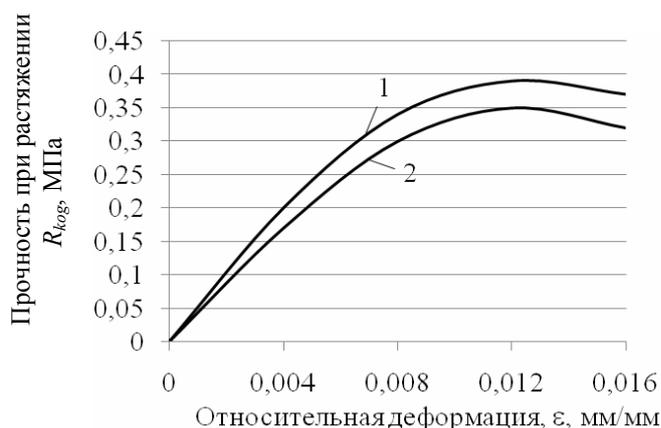


Рис. 3. Изменение относительных деформаций при растяжении известковых покрытий: 1 – известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной в присутствии диатомита; 2 – известковый состав с добавкой на основе гидросиликатов кальция, синтезированной без диатомита

Таким образом, значение внутренних напряжений, составляющие 0,021 МПа, оказывается значительно меньше значения прочности при растяжении, равного 0,49 МПа, а значение предельной растяжимости, составляющее 0,005 мм/мм, оказывается значительно больше значения усадочной деформации, равного 0,00024 мм/мм. Это обуславливает высокую трещиностойкость покрытий, что способствует повышению их эксплуатационной стойкости.

Список литературы

1. Шангина, Н.Н. Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры / Н. Н. Шангина, А. М Харитонов // Сухие строительные смеси. – 2011. – №4. – С.16–19.
2. Орлова, Н.А. Применение природного минерала игольчатого типа волластонита в сухих строительных смесях / Н.А. Орлова, А.М. Белоусов // Ползуновский вестник. – 2008. – № 1–2. – С.94–96.
3. Оптимизация режима синтеза добавки на основе гидросиликатов для известковых сухих строительных смесей / В.И. Логанина, И.С. Пышкина, С.А. Толушов, С.А. Болдырев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 4–1 (25). – С.48–51.
4. Логанина, В.И. Тонкодисперсные наполнители на основе силикатов кальция для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Ю.А. Мокрушина // Строительные материалы. – 2010. – №2. – С. 36–39.

References

1. Shangina, N.N. Features of the production and use of dry construction mixtures for the restoration of monuments of architecture / N.N. Shangina, A. M. Kharitonov // Dry mixes. – 2011. – №4. – P.16–19.
2. Orlova, N.A. The use of natural mineral wollastonite needle-type dry construction mixtures / N.A. Orlova A.M. Belousov // Polzunovsky vestnik. – 2008. – № 1–2. – P.94–96.
3. Optimization of synthesis mode additives based on calcareous hydrosilicates for dry mixes / V.I. Loganina, I.S. Pyshkina, S.A. Tolush, S.A. Boldyrev // Regional Architecture and Engineering. – 2015. – № 4–1 (25). – P.48–51.
4. Loganina, V.I. Fine filler based on calcium silicate for dry construction mixtures / V.I. Loganina, L.V. Makarova, Yu.A. Mokrushina // Building materials. – 2010. – №2. – P. 36–39.

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

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

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

Полубарова Юлия Владимировна,
аспирант

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

Polubarova Julija Vladimirovna,
Postgraduate student

АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО ТЕРМОЛИТОБЕТОНА ПО ПОЛНОСТЬЮ РАВНОВЕСНЫМ ДИАГРАММАМ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

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

Экспериментально определены полностью равновесные диаграммы деформирования конструкционного термолитобетона в зависимости от водоцементного отношения и удобоукладываемости бетонной смеси. Показана зависимость удельных энергозатрат на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины и энергозатраты на статическое разрушение.

Ключевые слова: диаграмма деформирования, конструкционный термолитобетон, термолитовый заполнитель, энергозатраты, статическое деформирование и разрушение

ANALYSIS OF MECHANICAL BEHAVIOR OF STRUCTURAL TERMOLITHOCONCRETE IN EQUILIBRIUM DEFORMATION DIAGRAMS

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

The experimentally determined in equilibrium diagram of deformation structural termolitoconcrete depending on the water-cement ratio and workability of concrete mortar are defined. The dependence of the specific energy consumption for a static destruction before the start of the main crack movement and energy to static failure.

Keywords: deformation diagram, structural termolitoconcrete, termolitoconcrete filler, energy, static deformation and destruction

В [1, 2] отмечается, что, несмотря на большое число исследований прочности, структурных изменений и деформаций конструкционных бетонов, изучены далеко не все закономерности их деформаций.

Проф. А.А. Гвоздев в одной из своих работ [3] отмечает, что «...из-за недостаточности знаний законов деформирования бетона трудно предвидеть с желаемой полнотой поведение конструкций под влиянием воздействий, существенно отличающихся от однократного простого нагружения».

Современные методологические подходы к изучению механического поведения бетонов под нагрузкой и определению характеристик трещиностойкости с позиций

структурной механики разрушения материалов позволяют глубже понять законы деформирования бетона при статическом кратковременном нагружении. Равновесные механические испытания бетона на образцах типа I по ГОСТ 29167 с оценкой полностью равновесных диаграмм деформирования (ПРДД), то есть диаграмм с нисходящим участком, отражающих в полной мере физические процессы, протекающие в материале, имеют важное значение в теоретическом и практическом отношении.

По таким диаграммам, кроме прочностных характеристик материала, можно определить комплекс силовых и энергетических параметров разрушения [4]. Эти диаграммы весьма информативны при анализе распределения напряжений по сечению элементов конструкций, при оценке несущей способности и трещиностойкости бетона.

Целью данной работы является изучение деформативных особенностей конструкционного термолитобетона по полностью равновесным диаграммам деформирования. Для изучения деформационных и прочностных свойств конструкционного термолитобетона в промышленных условиях была изготовлена опытная партия термолитового щебня на основе местной опоки Канаевского месторождения.

Обжиг опоки осуществляли в керамзитовой печи при температуре 1070–1100 °С. Термолитовый заполнитель фракции 5÷20 мм характеризовался следующими данными: объемная насыпная масса 770 кг/м³; прочность заполнителя в стальном цилиндре диаметром 150 мм – 8 МПа; водопоглощение в воде составляло 30 % по массе за 24 часа и 24 % – за одну минуту; объемная плотность в куске – 1,43 г/см³; коэффициент размягчения – 0,8; сжимаемость при относительном уровне напряжения 0,9 составляла 6,59 мм/м.

Для изучения деформационных и прочностных свойств термолитобетона были подобраны два состава бетона марки 200, аналогичные по удобоукладываемости бетонной смеси для изготовления железобетонных конструкций типа ПТК и ПНС, то есть, соответственно, с удобоукладываемостью 50÷80 с и 4÷6 см.

Были изготовлены опытные образцы, кубы и призмы, соответственно, размером 10×10×10 см и 10×10×40 см, с использованием сульфатостойкого портландцемента марки 400, сурского речного песка с модулем крупности 1,56 и термолита опытной партии.

Состав бетона первой серии по уплотненной бетонной смеси с удобоукладываемостью 50÷80 с составил: цемент – 366 кг/м³; песок – 733 кг/м³; термолит – 650 кг/м³; вода – 273 л (В/Ц=0,746). Для бетона второй серии с удобоукладываемостью 4÷6 см: цемент – 400 кг/м³; песок – 640 кг/м³; термолит – 665 кг/м³; вода – 350 л (В/Ц=0,875).

Образцы формовали на виброплощадке со стандартными параметрами вибрации с использованием пригрузочной площадки 15 г·с/см². Время уплотнения бетонной смеси первой серии составляло 100÷120 с, второй серии – 20÷30 с. На каждом составе бетона было изготовлено 30 кубов и 20 призм. Отличительной особенностью легкобетонных смесей на термолите является достаточно быстрое ухудшение ее удобоукладываемости, что обусловлено высоким капиллярным потенциалом термолитового заполнителя. Отформованные образцы подвергали тепловлажностной обработке (ТВО) в лабораторной пропарочной камере по режиму 3+2+8+естественное остывание при температуре изотермии 80 °С.

После ТВО образцы хранили в обычных лабораторных условиях. В таблице представлены осредненные значения кубиковой прочности и плотности бетона из испытания шести образцов-близнецов.

Долговременная прочность и плотность конструкционного термолитобетона

Состав бетона серии	Возраст бетона					
	После ТВО		28 суток		11 лет	
	R_k , МПа	γ_0 , кг/м ³	R_k , МПа	γ_0 , кг/м ³	R_k , МПа	γ_0 , кг/м ³
1	18,1	1990	23,6	1930	35,6	1895
2	18,1	1980	22,3	1920	28,5	1880

Как следует из данных таблицы, кубиковая прочность пропаренного термолитобетона во времени существенно (на 28÷50 %) возрастает, что находится в полном соответствии с данными, приведенными в работе [5].

Механические испытания образцов кубов и призм в возрасте 28 суток показали, что отношение призмной прочности к кубиковой было в пределах 0,75÷0,8, что находится в пределах значений, характерных для легких бетонов на других видах пористых заполнителей.

Опытные данные по определению модуля упругости бетона на уровне обжатия $0,2\div 0,3 R_{\text{пр}}$ показали, что значения величин модуля колебались от 13900 до 17800 МПа и, в среднем, были равны 15500 МПа для рассматриваемой марки бетона 200 при его объемной массе в естественном состоянии около 1930 кг/м^3 . Сравнение значений модуля упругости термолитобетона марки 200 со значениями модуля упругости для легких бетонов по СНиП показало, что модули упругости бетона на основе термолитового заполнителя хорошо согласуются с нормируемыми значениями для легких бетонов типа керамзитобетонов. Характер изменения модуля деформации на кривой нагружения с ростом интенсивности напряжения аналогичен диаграммам для бетонов на плотных заполнителях.

Для получения полностью равновесных диаграмм деформирования ГОСТ 29167 рекомендует при механических испытаниях образцов применять в стандартных испытательных машинах дополнительные перераспределяющие устройства типа «кольцо» (рис. 1).

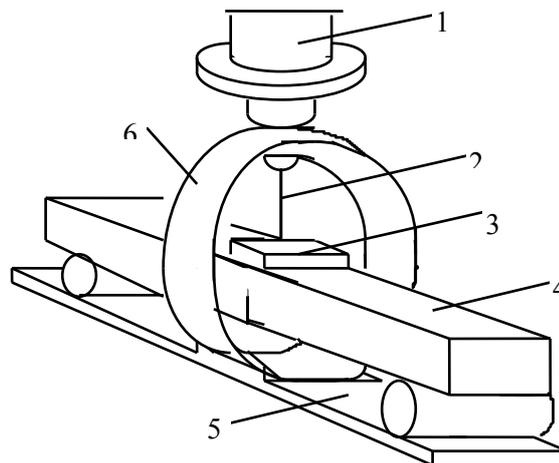


Рис. 1. Схема дополнительного перераспределяющего устройства к стандартному прессу:
1 – нагружающий элемент пресса; 2 – пуансон; 3 – распределительная балочка; 4 – образец;
5 – основание; 6 – упругое стальное кольцо

На рис. 2 и 3 приведены результаты, полученные в опытах на образцах термолитобетона, соответственно, с кубиковой прочностью 35,6 и 28,5 МПа, В/Ц легкобетонной смеси – 0,746 и 0,875 и удобоукладываемостью 60÷80 с и 4÷6 см. Значения ПРДД №1 и №2 на рисунках соответствуют диаграммам с наибольшей и наименьшей площадью ПРДД из испытания шести образцов-близнецов.

Сравнивая численные значения энергетических характеристик трещиностойкости: G_i – удельные энергозатраты на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины; G_F – удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение и G_{iF} – полные удельные упругие энергозатраты на статическое деформирование образцов до деления на части, опытных образцов термолитобетона, приведенных в табличной форме на поле рис. 2 и 3, отчетливо видно, что лучшими характеристиками трещиностойкости обладает состав термолитобетона на основе жесткой бетонной смеси.

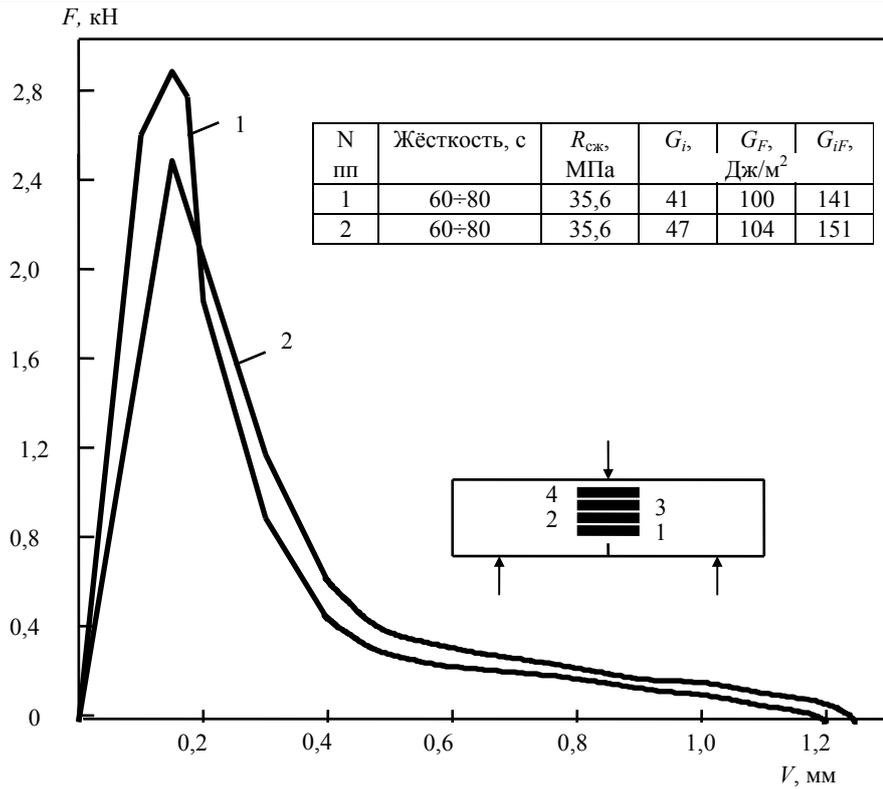


Рис. 2. Полностью равновесные диаграммы деформирования термолитобетона прочностью 35,6 МПа в возрасте 11 лет при В/Ц=0,746:
1 – ПРДД №1; 2 – ПРДД №2

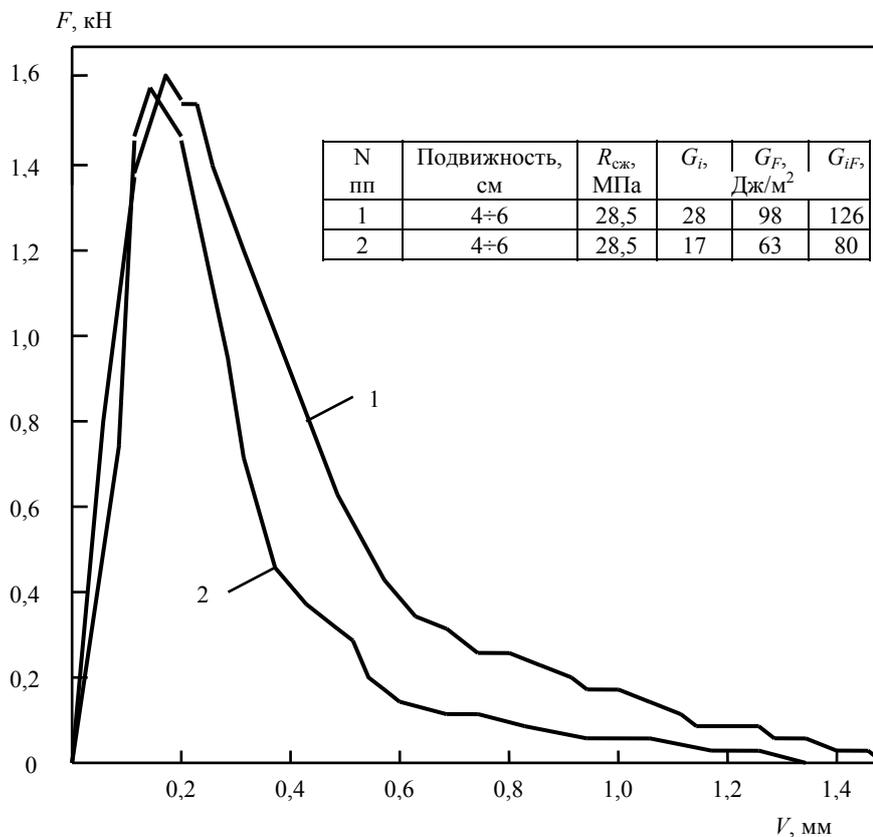


Рис. 3. Полностью равновесные диаграммы деформирования термолитобетона прочностью 28,5 МПа в возрасте 11 лет при В/Ц=0,875:
1 – ПРДД №1; 2 – ПРДД №2

Из сравнения ПРДД термолитобетона с прочностью 35,6 и 28,5 МПа (см. рис. 2 и 3) следует, что больший диапазон разброса энергетических характеристик трещиностойкости G_i и G_F соответствует ПРДД бетона с прочностью 28,5 МПа, что свидетельствует о большей неоднородности его структуры. Подтверждением этого тезиса может служить характеристика поверхности разрушения опытных образцов, визуальный осмотр которой показал, что образцы бетона с прочностью 35,6 МПа разрушались по заполнителю, тогда как образцы бетона с прочностью 28,5 МПа – частично и по зоне сцепления. Из этого факта следует, что жесткие легковесные смеси на основе термолита обеспечивают большую однородность механических свойств структурных элементов конструкционного термолитобетона. При этом необходимо отметить, что, несмотря на несколько меньший расход цемента в жесткой бетонной смеси, это, тем не менее, обеспечивало, с одной стороны, увеличение кубиковой прочности в возрасте 11 лет примерно на 25 % относительно прочности термолитобетона на основе бетонной смеси с подвижностью 4–6 см, а с другой – повышение нагрузки F_c , соответствующей статическому началу движения магистральной трещины, на 65÷91 %.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что изучение механического поведения конструкционного термолитобетона по полностью равновесным диаграммам деформирования с использованием базовых положений структурной механики и физики разрушения композиционных строительных материалов открывает новые экспериментальные возможности в понимании закономерностей процесса разрушения и в обосновании критериев разрушения, что, в свою очередь, является материаловедческой основой улучшения его физико-механических свойств и создания бетонов с заданными свойствами.

Из сравнения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости с учетом разброса колебаний численных значений энергетических характеристик в опытной партии образцов следует отдать предпочтение термолитобетону из относительно жестких бетонных смесей.

Список литературы

1. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / А.А. Гвоздев [и др.]; под ред. проф. А.А. Гвоздева. – М.: Стройиздат, 1978. – 299 с.
2. Разрушение бетона и его долговечность / Е.А. Гузев [и др.]. – Минск: Тыздзень, 1997. – 170 с.
3. Гвоздев, А.А. Некоторые вопросы методики исследования прочности и деформаций бетона и железобетонных конструкций / А.А. Гвоздев // Методика лабораторных исследований деформаций и прочности бетона, арматуры и железобетонных конструкций: труды координационного совещания. АСИА СССР, НИИЖБ. – М.: Госстройиздат, 1962. – С. 23–29.
4. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
5. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях из обожженных кремнистых пород (обзор) / Г.А. Бужевич [и др.]. – М.: ЦНИИС Госстроя СССР, 1977. – 44 с.

References

1. Strength, structural changes and deformation of concrete / A.A. Gvozdev [etc.]; Edited by Prof. A.A. Gvozdev. – M.: Stroyizdat, 1978. – 299 p.
2. Destruction of concrete and its durability / E.A. Guzev [etc.]. – Minsk: Tjdzhen', 1997. – 170 p.
3. Gvozdev, A.A. Some questions of methodology of research strength and deformation of concrete and reinforced concrete structures / A.A. Gvozdev // Methods of laboratory studies of deformation and strength of concrete, reinforcement and reinforced concrete structures: Works coordination meeting ASiA SSSR, NIIZHB. – M.: Gosstroyizdat, 1962. – P. 23–29.
4. GOST 29167–91. Concretes. Methods for determination of fracture toughness properties (toughness) under static loading.
5. Lightweight concrete artificial porous aggregates of durat siliceous rocks (review) / G.A. Buzhevich [etc.]. – M.: ZNIIS Gosstroya SSSR, 1977. – 44 p.

Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г.Шухова

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

Кара Карина Александровна,
кандидат технических наук, старший
преподаватель кафедры «Городской
кадастр и инженерные изыскания»
E-mail: karina200386@yandex.ru

Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov

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

Kara Karina Alexandrovna,
Candidate of Sciences, Senior Lecturer of the
department «Civil cadaster and engineering
investigations»
E-mail: karina200386@yandex.ru

К ВОПРОСУ О ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕАВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

К.А. Кара

Рассчитаны основные показатели технико-экономической потенциальной эффективности основных теплоизоляционных материалов с учетом их долговечности и срока окупаемости при использовании этих материалов в ограждающих конструкциях.

Ключевые слова: неавтоклавный ячеистый бетон, энергоэффективность, себестоимость, теплопроводность, срок службы, ограждающие конструкции

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF NON-AUTOCLAVE CELLULAR CONCRETE

K.A. Kara

The primary parameters of technical and economic potential efficiency of basic heat-insulating materials taking into account their durability and pay-off period when its application in building envelopes are calculated.

Keywords: non-autoclave cellular concrete, energy efficiency, self-cost, heat conductivity, durability, building envelopes

В социально-экономической сфере в настоящее время жилищная проблема является одной из самых актуальных проблем. Обеспеченность жильем в современной рыночной экономике является главным и объективным фактором социального и экономического развития государства. В аналитическом докладе «Глобальные тенденции 2030: альтернативные миры», опубликованного в 2013 году, отмечено, что основными источниками конфликтов в будущем будут являться энергоресурсы, дефицит питьевой воды, а также развитие высоких технологий, с помощью которых не только государственные, но и негосударственные субъекты могут получить доступ к ядерному оружию [1].

Наряду с проблемами строительства нового жилья одновременно остро стоит проблема снижения энергозатрат на содержание существующего жилищного фонда, который потребляет до 40 % общих затрат энергии [2–5].

Экономическая эффективность тепловой защиты зданий существенно зависит от выбора теплоизоляционных материалов. Технико-экономическая оценка потенциальной эффективности газобетона на композиционном вяжущем с учетом его долговечности проводилась по методике [6].

Объективной комплексной оценке эффективности теплоизоляционных материалов были посвящены работы Б.А. Семёнова. В качестве критерия экономической целесообразности использован комплексный показатель эффективности теплоизоляционных материалов первого рода $c_T \cdot \lambda_T$, (руб.·Вт)/(м²·°С) (c_T – стоимость, руб./м³; λ_T –

теплопроводность теплоизоляционного материала, Вт/(м·°C)), объединяющий теплопроводность и стоимость теплоизоляционного материала. Но этот критерий не дает представления о потенциальной величине эффекта, который может быть достигнут при использовании теплоизоляционного материала в заданных условиях. Для устранения этого недостатка применен дифференциальный *комплексный критерий эффективности теплоизоляционных материалов второго рода* σ_T , объединяющий теплопроводность и стоимость с теплозащитным эффектом, достигаемым при использовании теплоизоляционного материала в заданных стандартных условиях. Он представляет собой безразмерный параметр, численно равный отношению теплозащитного эффекта издержек $dИ$, руб., создаваемых бесконечно малым слоем теплоизоляционного материала при некоторых выбранных для сравнения стандартных условиях, к капитальным вложениям $dК$, руб., в этот малый слой, то есть

$$\sigma_T = \frac{dИ}{dК} = \frac{c_3}{c_T \cdot \lambda_T} \cdot \frac{T \cdot \Delta t}{(R_0^*)^2} = \frac{c_3}{c_T \cdot \lambda_T} \cdot \sigma_0 = \frac{c_3}{c_T \cdot \lambda_T} \cdot 10^6; \quad (1)$$

$$dК = c_T \cdot \lambda_T \cdot F \cdot dR; \quad (2)$$

$$dИ = -c_3 \cdot T \cdot \Delta t \cdot F \cdot (R_0^*)^{-2} \cdot dR; \quad (3)$$

$$\sigma_0 = \frac{T \cdot \Delta t}{(R_0^*)^2}, \quad (4)$$

где $dК$ – капитальные вложения, руб., в слой теплоизоляционного материала бесконечно малой толщины с термическим сопротивлением dR ; dR – термическое сопротивление слоя малой толщины, (м²·°C)/Вт; F – площадь слоя, перпендикулярная направлению движения теплового потока, м²; $dИ$ – теплозащитный эффект издержек слоя материала малой толщины, руб.; c_3 – тарифная стоимость тепловой энергии, руб./(Вт·ч); R_0^* – исходное сопротивление теплопередаче стенки до введения дополнительного теплоизоляционного слоя, (м²·°C)/Вт; σ_0 – комплекс внешних факторов, не зависящих от вида теплоизоляционного материала, (Вт²·ч)/(м⁴·°C); c_T – стоимость теплоизоляционного материала, руб./м³; λ_T – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°C). Знак минус в уравнении (3) указывает на противоположность приращений $dИ$ и dR , то есть на то, что с ростом сопротивления теплопередаче R тепловые потери через стенку сокращаются и стоимость потерянной теплоты $dИ$ уменьшается. При $\Delta t = 1^\circ\text{C}$, $T = 1$ ч и $R_0^* = 1,0$ (м²·°C)/Вт $\sigma_0 = 1,0$ (Вт²·ч)/(м⁴·°C).

Существенным недостатком вышеупомянутых комплексных критериев первого и второго рода, ограничивающим их практическое применение, является то, что ни один из них не учитывает долговечность материалов. Для учета долговечности в комплексе с другими свойствами теплоизоляционных материалов предлагается *комплексный критерий третьего рода* p_T [6], представляющий собой отношение дисконтированной в течение всего срока службы прибыли от устройства теплозащитного слоя малой толщины из данного теплоизоляционного материала к капитальным вложениям в этот слой при стандартных условиях сопоставления:

$$p_T = - \frac{dИ_{\text{год}} \cdot \sum_{t=1}^{T_{\text{св}}} (1 + E_p)^{-t}}{dК} = - \frac{\alpha \cdot dИ_{\text{год}}}{dК} \cdot \alpha \cdot \frac{c_3}{c_T \cdot \lambda_T} \cdot \frac{T_{\text{год}}^{\text{от}} \cdot \Delta t_{\text{год}}^{\text{ср}}}{(R_0^*)^2} = \quad (5)$$

$$= \alpha \cdot \frac{c_3}{c_T \cdot \lambda_T} \cdot p_0 = 130 \cdot 10^3 \cdot \alpha \cdot \frac{c_3}{c_T \cdot \lambda_T};$$

$$\alpha = \sum_{t=1}^{T_{\text{сл}}} (1 + E_p)^{-t} = \frac{1}{E_p} \cdot \left[1 - (1 + E_p)^{-T_{\text{сл}}} \right]; \quad (6)$$

$$dИ_{\text{год}} = -c_3 \cdot T_{\text{год}}^{\text{от}} \cdot \Delta t_{\text{год}}^{\text{ср}} \cdot F \cdot (R_0^*)^{-2} \cdot dR; \quad (7)$$

$$p_o = \frac{T_{\text{год}}^{\text{от}} \cdot \Delta t_{\text{год}}^{\text{ср}}}{(R_0^*)}, \quad (8)$$

где $dИ_{\text{год}}$ – годового теплозащитный эффект издержек слоя материала малой толщины, руб./год; t – порядковый номер текущего года в пределах срока службы материала; $T_{\text{сл}}$ – нормативный срок службы теплоизоляционного материала, лет; E_p – реальная норма дисконта, год^{-1} ; α – коэффициент дисконтирования прибыли, лет, определяемый по формуле (6); $T_{\text{год}}^{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, ч/год; $\Delta t_{\text{год}}^{\text{ср}}$ – среднегодовая разность температур, $^{\circ}\text{C}$; $p_0 = 130 \cdot 10^3$ ($\text{Вт} \cdot \text{ч}$)/($\text{год} \cdot \text{м}^4 \cdot ^{\circ}\text{C}$).

В качестве стандартных значений, определяющих внешние условия для сопоставления различных материалов, использовали значения продолжительности и перепада температур за отопительный период для г. Белгорода: $T_{\text{год}}^{\text{от}} = 4564,9$ ч/год; $\Delta t_{\text{год}}^{\text{ср}} = 28,4^{\circ}\text{C}$ [7]; $R_0^* = 1,0$ ($\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)/Вт.

Разделив полученное выражение (8) на (5), установим связь между критериями эффективности теплоизоляционных материалов второго и третьего рода. Эта связь выражается следующим уравнением:

$$p_r = 0,13 \cdot \alpha \cdot \sigma_r. \quad (9)$$

В настоящее время норма дисконта α в большинстве экономических расчетов принимается равной учетной ставке по банковским вкладам.

В зарубежной экономической литературе ориентировочные значения реальных учетных ставок по банковским вкладам, как правило, принимаются равными 5 % в год, что в долях единицы составляет $E_p = 0,05 \text{ год}^{-1}$. Это значение предлагается использовать как единую стандартную реальную норму дисконта при сопоставлении эффективности различных теплоизоляционных материалов. Формула для расчета коэффициента дисконтирования при этом принимает следующий частный вид:

$$\alpha = 20 \cdot \left[1 - (1,05)^{-T_{\text{сл}}} \right]. \quad (10)$$

Предлагаемый критерий потенциальной эффективности третьего рода p_r увязывает три основных свойства – теплопроводность, стоимость и долговечность – с теплозащитным эффектом, достигаемым от использования теплоизоляционных материалов в заданных стандартных условиях в течение всего нормативного срока службы. Данный показатель может быть рекомендован для сравнительной оценки теплоизоляционных материалов по величине потенциального эффекта. Чем выше p_r , тем больший эффект может быть получен при полном использовании потенциала данного теплоизоляционного материала в реальной конструкции.

Так как теплоизоляционные материалы работают в системе с другими конструктивными и отделочными материалами, полное использование потенциального эффекта теплоизоляционного материала в конструкции возможно лишь при нормативном сроке службы материала, не превышающем срока службы теплоизолируемой конструкции ($T_{\text{сл}}^{\text{кон}} \geq T_{\text{сл}}^{\text{мат}}$), иначе при $T_{\text{сл}}^{\text{кон}} < T_{\text{сл}}^{\text{мат}}$ потенциальный эффект теплоизоляционного материала не будет использован полностью. Для оценки величины реально возможного потенциального эффекта теплоизоляционных материалов необходимо

значение коэффициента дисконтирования α^* , рассчитанное не на весь срок службы материала, а лишь на срок службы теплоизолируемой конструкции, то есть

$$\alpha^* = \frac{1}{E_p} \cdot \left[1 - (1 + E_p)^{T_{сл}^{кон}} \right] = 20 \cdot \left[1 - (1,05)^{T_{сл}^{кон}} \right]. \quad (11)$$

Коэффициент использования потенциального эффекта теплоизоляционного материала в конструкции η_n – это отношение коэффициентов дисконтирования прибыли, рассчитанных при сроке службы конструкции (α^*) и сроке службы материала (α). Коэффициент использования потенциального эффекта теплоизоляционного материала в конструкции η_n равен:

$$\eta_n = \frac{\alpha^*}{\alpha} = \left[\frac{1 - (1 + E_p)^{-T_{сл}^{кон}}}{1 - (1 + E_p)^{-T_{сл}^{мат}}} \right] \text{ при } T_{сл}^{кон} < T_{сл}^{мат}, \quad (12)$$

$$\eta_n = 1,0 \text{ при } T_{сл}^{кон} \geq T_{сл}^{мат}. \quad (13)$$

Величину потенциального эффекта теплоизоляционного материала при его использовании для теплозащиты конструкции удобно оценивать частным значением потенциальной эффективности p_t^* , рассчитанной с учетом значений коэффициента η_n :

$$p_m^* = 0,13 \cdot \alpha \cdot \sigma_m \cdot \eta_n = p_m \cdot \eta_n. \quad (14)$$

Потенциальная эффективность газобетона на композиционном вяжущем и других теплоизоляционных материалов, различающихся теплопроводностью, стоимостью и долговечностью, представлена в таблице.

Расчет комплексных показателей потенциальной эффективности теплоизоляционных материалов

Материал теплоизоляции конструкций	Показатели основных свойств теплоизоляционных материалов			$\alpha = \alpha^*$, лет	Показатели потенциальной эффективности материалов	
	λ , Вт/(м·°C)	c_t , руб./м ³	$T_{сл}$, лет		σ_t	$p_t = p_t^*$
Экструзионный пенополистирол	0,033	2800	15	10,38	3,2	4,32
Теплоизоляция из базальтовых горных пород	0,04	2520	20	12,46	2,98	4,83
Минеральная вата из стеклянного штапельного волокна	0,044	2224	15	10,38	3,07	4,14
Плиты минеральные на карбонидном связующем	0,045	1800	15	10,38	3,7	1,68
Плиты теплоизоляционные из перлитополимербетона	0,047	4320	20	12,46	1,48	0,8
Пенобетон	0,07	2200	40	17,16	1,95	4,35
Плиты полистиролцементные	0,085	2300	25	14,09	1,53	2,8
Теплоизоляция из макулатуры и отходов деревообработки	0,094	500	10	7,72	6,38	6,4
Неавтоклавный газобетон на композиционном вяжущем	0,078	770	50	18,26	4,99	11,84

Примечание. В расчете использовалось значение тарифной стоимости тепловой энергии $c_3 = 300 \cdot 10^{-6}$ руб./(Вт·ч).

Анализ полученных результатов (см. таблицу) показывает, что газобетон на композиционном вяжущем имеет высокий результирующий потенциал эффективности за счет большей долговечности [11–17].

Также была проведена технико-экономическая оптимизация уровня теплозащиты ограждающих конструкций, учитывающая текущие значения цен и тарифов на материалы и энергоносители, уровень инфляции и рисков капиталовложений по методике [18].

Основная идея технико-экономической оптимизации энергосберегающего мероприятия при использовании метода совокупных дисконтированных затрат (СДЗ) [19] заключается в нахождении значения параметра (сопротивления теплопередаче ограждения), характеризующего степень реализации данного мероприятия, при котором величина СДЗ принимает минимальное значение для заданного расчетного срока T .

Оптимизация возможна, если при одном и том же изменении параметра капитальные затраты K увеличиваются, а эксплуатационные \mathcal{E} – уменьшаются или наоборот, т.е. меняются в разных направлениях. При повышении теплозащиты ограждающих конструкций, с одной стороны, снижаются расходы \mathcal{E} на тепловую энергию за счет уменьшения трансмиссионных теплопотерь, а с другой – возрастают затраты K на теплоизоляционный материал.

При увеличении толщины ограждающей конструкции возрастают капитальные затраты на теплоизоляционный материал $K_{ти}$ и уменьшаются трансмиссионные теплопотери и эксплуатационные затраты на тепловую энергию $\mathcal{E}_{т.от}$. Следовательно, возможно существование некоторого оптимального уровня теплозащиты, при котором СДЗ становятся наименьшими.

В [20] предлагается следующая формула для расчёта СДЗ:

$$\text{СДЗ} = K \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T + \mathcal{E} \left[\left(1 + \frac{p}{100}\right)^T - 1 \right] \cdot (100 / p). \quad (15)$$

После подстановки соответствующих выражений для $K_{ти}$ и $\mathcal{E}_{т.от}$ вместо K и \mathcal{E} в (15) для ограждающей конструкции после некоторых преобразований предложено [8] выражение для оптимального (экономически целесообразного) значения R_i :

$$R_{i,отн} = \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^{-5} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot n_i \cdot r_i \cdot D_d \cdot C_t \cdot \left[\left(1 + \frac{p}{100}\right)^T - 1 \right] \cdot (100 / p)}{0,8 \cdot C_{ти} \cdot \lambda_{ти} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T}}, \quad (16)$$

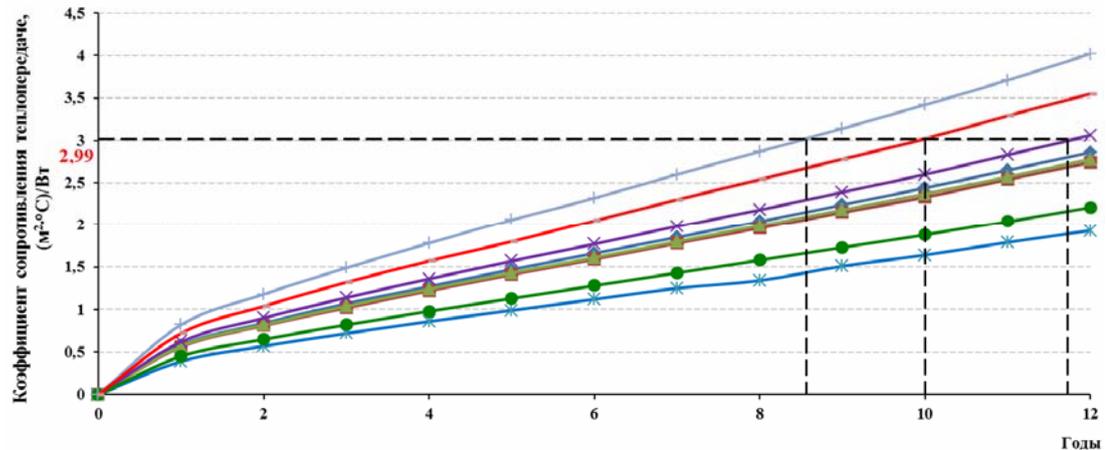
где $\lambda_{ти}$ – теплопроводность изоляционного материала, Вт/(м·К); $C_{ти}$ – его удельная стоимость с работами по его установке, руб./м³; r_i – коэффициент теплотехнической однородности i -й конструкции; 0,8 – средняя доля термического сопротивления слоя теплоизоляции в общем сопротивлении ограждения теплопередаче; β_1 – коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты через ограждения, для жилых зданий $\beta_1 = 1,13$ [18]; β_2 – коэффициент учета округления тепловой мощности отопительных приборов для зданий башенного типа $\beta_2 = 1,11$ [18]; $n \leq 1$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху [19]; D_d – градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) в районе строительства по данным [7]; C_t – тариф на тепловую энергию, руб./Гкал.

В качестве теплоизоляционных материалов приняты неавтоклавный газобетон со стоимостью $C_{ти} = 770$ руб./м³ и теплопроводностью $\lambda_{ти} = 0,078$ Вт/(м·°С) и пенобетон со стоимостью $C_{ти} = 1325$ руб./м³ и теплопроводностью $\lambda_{ти} = 0,08$ Вт/(м·°С) для условий эксплуатации «А» по прил. Д [20]. Для наружной стены коэффициент $r = 0,7$ и $n = 1$ [19]; стоимость тепловой энергии $C_t = 3000$ руб./кВт·ч; коэффициенты $\beta_1 = \beta_2 = 1,13$, а $D_d = 4564,9$ °С·сут для г. Белгорода [7].

Анализ формулы (16) показывает, что оптимальный уровень теплозащиты ограждающей конструкции при прочих равных условиях прямо пропорционален стоимости

тепловой энергии C_T и величине D_d и обратно пропорционален стоимости теплоизоляционного материала $C_{ти}$ и норме дисконта $p=12\%$.

На рисунке представлена зависимость $R_{опт}$ от времени T .



Зависимость оптимального значения R для наружной стены от расчетного срока окупаемости затрат на теплоизоляцию:

- Экструзионный пенополистирол
- Минеральная вата из стеклянного штапельного волокна
- Плиты теплоизоляционные из перлитополимербетона
- Теплоизоляция из макулатуры и отходов деревообработки
- Теплоизоляция из базальтовых горных пород
- Плиты минеральные на карбомидном связующем
- Пенобетон
- Неавтоклавный газобетон на композиционном вяжущем

Из рисунка видно, что капитальные затраты на возведение ограждающих конструкций с применением газобетона на композиционном вяжущем при достижении требуемого значения коэффициента термического сопротивления $R_0 = 2,99$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$) окупятся через 10 лет. Также этот показатель был достигнут только теплоизоляцией из макулатуры и отходов деревообработки и плитами минеральными на карбомидном связующем, в то время как при использовании остальных теплоизоляционных материалов необходимый коэффициент сопротивления теплопередаче по истечении даже 12 лет эксплуатации достигнут не будет. При данных сроках окупаемости энергосберегающего мероприятия по утеплению наружных стен неавтоклавым газобетоном на композиционных вяжущих их можно считать малозатратными и быстроокупаемыми.

Таким образом, можно утверждать, что использование газобетона на композиционном вяжущем при монолитном возведении ограждающих конструкций в полной мере позволит использовать полученную экономию за счет снижения эксплуатационных затрат на тепловую энергию.

Список литературы

1. Мир в 2030 году: прогнозы американских экспертов (о докладе Национального разведывательного совета США «Глобальные тенденции 2030: альтернативные миры»): Аналитические доклады / Е.С. Воронин [и др.]. – М.: ИМИ МГИМО – Университет МИД России, 2013. – Вып. 3(38). – 36 с.

2. Сердюк, В.Р. Ячеистый бетон как важная составляющая строительства энергосберегающего жилья в странах СНГ / В.Р. Сердюк // Инновационное развитие территорий: сб. материалов III Международной научно-практической конференции; отв. за вып. З.М. Магруппова. – Череповец: Череповецкий государственный университет, 2015. – С. 21–23.

3. Weber H., Hullmann H. Porobeton Handbuch. Planen und Bauen mit System. 5 Auflage. Gtersloh: BertelsmannSpringen Bauverlag, 2002. – 278 p.

4. Schlaich, M. Infra lightweight concrete – potencial for fair-faced concrete applications / M. Schlaich // BFT INTERNATIONAL. – 2007. – № 2. – P. 118–119.

5. Lajosz, A. Influence of the fly ash properties on properties of autoclaved aerated concrete / A. Lajosz, P. Szymanski, P. Walczak // 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete "Securing a sustainable future" to be held at Bydgoszcz to celebrate 60 years of AAC experience in Poland. – 14-17 September. 2011. – University of Technology and Life Sciences.

6. Иващенко, Ю.Г. Критерии технико-экономической оценки потенциальной эффективности теплоизоляционных материалов с учетом их долговечности / Ю.Г. Иващенко // Известия вузов. Строительство. – 2004. – № 2. – С. 32–38.

7. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. Взамен СНиП 2.01.01-82; введ. 01.01.2000. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 106 с.

8. Самарин, О. Как сделать утепление наружных стен малозатратным и быстрокупаемым / О. Самарин // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2011. – № 2. – С. 68–70.

9. Дмитриев, А.Н. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А.Н. Дмитриев. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с.

10. Гагарин, В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Ч.1. / В.Г. Гагарин // АВОК. – 2009. – № 1. – С. 10–16.

11. Zum problem der optimisierung von porigkeit des zellbetons der nichtautoklavenerhärtung / L.A. Sulejmanowa, W.S. Lessowik, K.A. Kara, G.A. Lessowik // 19-te INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL 2015. – 2015. – P. 1343–1349.

12. Энергоэффективные технологии газобетона для зеленого строительства / Л.А. Сулейманова, К.А. Кара, С.А. Коломацкая, К.А. Сулейманов // Современные строительные материалы, технологии и конструкции: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». – Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, 2015. – С. 142–148.

13. Кара, К.А. Энергоэффективный теплоизоляционный материал для монолитного строительства / К.А. Кара, К.А. Сулейманов, М.Ш. Ибрафиллов // Научные и инженерные проблемы строительной-технологической утилизации техногенных отходов. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. – С. 104–106.

14. Сулейманова, Л.А. Энергоэффективный газобетон / Л.А. Сулейманова, С.А. Коломацкая, К.А. Кара // Научные и инженерные проблемы строительной-технологической утилизации техногенных отходов. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. – С. 218–220.

15. Energy-efficient concretes for green construction / L.A. Suleymanova [etc.] // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Т. 9. – № 12. – P. 1087–1090.

16. Лесовик, В.С. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства / В.С. Лесовик, Л.А. Сулейманова, К.А. Кара // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 3. – С. 10–20.

17. Сулейманова, Л.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства / Л.А. Сулейманова, К.А. Кара. – Белгород: КОНСТАНТА, 2011. – 150 с.

18. МГСН 2.01-99. Энергосбережение в зданиях: введ. 01.03.1999. – М.: Москомархитектура, 1999. – 60 с.

19. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. Взамен СНиП II-3-79*; введ. 01.10.2003. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 30 с.

20. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Взамен СП 23-101-2000; введ. 01.06.2004. – М.: ГУП ЦПП, 2004. – 143 с.

References

1. The world in 2030: forecasts of U.S. experts (report of the National intelligence Council "Global trends 2030: alternative worlds"): Analytical report / E.S. Voronin [etc.]. – М.: MGIMO – University MFA of Russia, 2013. – Vol. 3(38). – 36 p.

2. Serdyuk, V.R. Cellular concrete as an important component of building energy-saving housing in the CIS / V.R. Serdyuk // Innovative development of territories: materials of the III International scientific-practical conference; ed. for vol. Z.M. Magrupova. – Cherepovets: Cherepovets state University, 2015. – P. 21-23.
3. Weber H., Hullmann H. Porobeton Handbuch. Planen und Bauen mit System. 5 Auflage. Gtersloh: BertelsmannSpringen Bauverlag, 2002. – 278 p.
4. Schlaich, M. Infra lightweight concrete – potential for fair-faced concrete applications / M. Schlaich // BFT INTERNATIONAL. – 2007. – № 2. – P. 118–119.
5. Lagosz, A. Influence of the fly ash properties on properties of autoclaved aerated concrete / A. Lagosz, P. Szymanski, P. Walczak // 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete “Securing a sustainable future” to be held at Bydgoszcz to celebrate 60 years of AAC experience in Poland. – 14-17 September. 2011. – University of Technology and Life Sciences.
6. Ivashchenko, Yu.G. Criteria feasibility assessment of the potential effectiveness of thermal insulation materials based on their durability / Yu.G. Ivashchenko // Proceedings of the universities. Construction. – 2004. – No. 2. – P. 32–38.
7. SNiP 23-01-99*. Building climatology. Instead of SNiP 2.01.01-82; 01.01.2000. – M.: GUP tspp publ., 2000. – 106 p.
8. Samarin, O. How to make an insulation of exterior walls low-cost and fast-payback / O. Samarin // Construction: new technologies – new equipment. – 2011. – No. 2. – P. 68–70.
9. Dmitriev, A.N. Guidance on the assessment of economic efficiency of investments in energy saving measures / A. N. Dmitriev. – M.: AVOK-PRESS, 2005. – 120 p.
10. Gagarin, V.G. Methods of economic analysis of increasing the level of thermal protection of enclosing structures of buildings. Part 1 / V.G. Gagarin // AVOK. – 2009. – No. 1. – P.10–16.
11. Zum problem der optimisierung von porigkeit des zellbetons der nichtautoklavenerhärtung / L.A. Sulejmanowa, W.S. Lessowik, K.A. Kara, G.A. Lessowik // 19-te INTERNATIONALE BAUSTOFFTAGUNG IBAUSIL 2015. – 2015. – P. 1343–1349.
12. Energy efficient technology of aerated concrete for green construction / L.A. Suleymanova, K.A. Kara, S.A. Kolomatskiy, K.A. Suleimanov // Modern building materials, technologies and design: materials of International scientific-practical conference dedicated to the 95th anniversary of FGBOU VPO "GGNU them. Acad. M. D. Millionshtchikov". – Grozny state oil technical University named academician M. D. millionshtchikov, 2015. – P. 142–148.
13. Kara, K.A. Energy-efficient thermal insulation material for monolithic construction / K.A. Kara, A.K. Suleimanov, M.S. Israfilov // Scientific and engineering problems of the construction technology of recycling of industrial waste. – Belgorod: Belgorod state technological University. V.G. Shukhov, 2014. – P. 104–106.
14. Suleymanova, L.A. Energy-efficient concrete / L.A. Suleymanov, S.A. Kolomatskiy, K.A. Kara // Scientific and engineering problems of the construction technology of recycling of industrial waste. – Belgorod: Belgorod state technological University. V.G. Shukhov, 2014. – P. 218–220.
15. Energy-efficient concretes for green construction / L. A. Suleymanova [etc.]// Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – V. 9. – No. 12. – P. 1087–1090.
16. Lesovik, V.S. Energy-efficient concretes on composite binders for monolithic construction / V.S. Lesovik, L.A. Suleymanova, K.A. Kara // news of higher educational institutions. Construction. – 2012. – No. 3. – P. 10–20.
17. Suleymanova, L.A. Concretes on composite binders for monolithic building / L.A. Suleymanova, K.A. Kara. – Belgorod: the CONSTANT 2011. – 150 p.
18. MGSN 2.01-99. Energy efficiency in buildings]. 01.03.1999. – M.: The Committee, 1999. – 60 p.
19. SNiP 23-02-2003. Thermal protection of buildings. Instead of SNiP II-3-79*; 01.10.2003. – M.: GUP tspp, 2003. 30 s.
20. SP 23-101-2004. Designing of thermal protection of buildings. Instead of SP 23-101-2000.

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Danilov Alexander Maksimovich,
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Construction Sciences, Head of the department
«Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

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

ФОРМАЛИЗАЦИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА КОМПОЗИТОВ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Даются методика определения обобщенного критерия качества и формализация кинетических процессов формирования физико-механических характеристик композиционного материала. Методика основана на аппроксимации процессов сплайнами третьего порядка и делении заданного интервала на интервалы возможно большей частичной длительности аппроксимации. Функционал качества композита (обобщенный критерий качества) определяется по результатам параметрической идентификации частных функционалов качества.

Ключевые слова: композиты, кинетические процессы, параметрическая идентификация, аппроксимация, методы, аппроксимация сплайнами, гладкая аппроксимация

FORMALIZATION OF KINETIC PROCESSES AND GENERALIZED QUALITY CRITERION OF COMPOSITES

A.M. Danilov, I.A. Garkina

Method determining generalized quality criterion and formalization of kinetic processes of the formation of physical and mechanical properties of a composite material are given. The methods are based on approximation process splines of third order and the division of the interval on partial intervals with the greatest possible length. The functional of composite quality (generalized quality criterion) is determined by the results of the parametric identification of particular quality functional.

Keywords: composites, kinetic processes, parametric identification, approximation, methods, approximation by splines, smooth approximation

Обычно *обобщенный критерий качества* композиционного материала строится на основе *частных критериев* качества (отдельных свойств), что связано с нахождением значений некоторых параметров, определяющих *аналитические зависимости свойств как функций времени*. Возникает *задача приближения функций*: по заданной таблице чисел $(x_i, f(x_i))$, $x_i \in [a, b]$, $i = \overline{1, N}$ вычислить функцию $f(x)$ с заданной точно-

стью на отрезке $[a, b]$ действительной оси. Классический метод ее решения основан на построении интерполяционного многочлена Лагранжа

$$L_N = \sum_{i=1}^n f(x_i) \frac{\omega_N(x)}{(x-x_i)\omega'_N(x_i)}, \quad \omega_N(x) = \prod_{i=1}^n (x-x_i).$$

Однако даже при большом числе узлов интерполяционный многочлен Лагранжа не всегда позволяет получить необходимое приближение функции (так, последовательность интерполяционных многочленов Лагранжа, построенных для непрерывной на отрезке $[-1, 1]$ функции $f(x) = |x|$ по равноотстоящим узлам, не сходится при возрастании числа узлов N к функции $f(x)$). Иногда трудности построения хороших интерполяционных многочленов удаётся преодолеть за счёт перехода к специальным многочленам или *выбора подходящей системы узлов интерполяции*. Однако на практике, для того чтобы аппроксимировать функцию, вместо построения глобального интерполяционного многочлена на всём промежутке используют кусочно-линейную интерполяцию (отрезок $[a, b]$ разбивается точками $a = x_1 < x_2 < \dots < x_N = b$ на части, на каждом промежутке $[x_i, x_{i+1}], i = \overline{1, N}$ строится свой интерполяционный многочлен). Полученные многочлены (обычно одной степени) интерполируют функцию на всём отрезке. Но озабоченность вызывают условия сопряжения на концах соседних отрезков. Перспективным оказалось использование сплайнов (гладкие кусочно-многочленные функции, составленные из многочленов одной и той же степени; в основном, третьей).

При построении кубических сплайнов, являющихся дважды непрерывно дифференцируемыми функциями, предполагается, что на отрезке $[a, b]$ в узлах сетки $\omega \{a = x_1 < x_2 < \dots < x_N = b\}$ заданы значения функции $f_i = f(x_i), i = \overline{1, N}$. Интерполяционный кубический сплайн $S(x)$ удовлетворяет условиям

$$S(x_i) = f_i, S'(x_i) = f'(x_i), S''(x_i) = f''(x_i) \quad (1)$$

и на каждом из отрезков $[x_i, x_{i+1}]$ определяется четырьмя коэффициентами (для его построения на всём промежутке $[a, b]$ необходимо определить $4N$ коэффициентов). Предполагается непрерывность во всех внутренних узлах интерполяции $x_i, i = \overline{2, N-1}$, не только сплайна $S(x)$, но и его производных $S'(x)$ и $S''(x)$. Из этих условий получается $3(N-1)$ уравнений для определения неизвестных коэффициентов сплайна. Добавив $N+1$ уравнение по (1), получим $4(N-2)$ уравнения. Два уравнения получаются из ограничений на значение сплайна и его производных на концах промежутка $[a, b]$ (краевые условия). Наиболее употребительными являются *краевые условия* вида:

$$S'(a) = f'(a), S'(b) = f'(b);$$

$$S''(a) = f''(a), S''(b) = f''(b);$$

$$S^k(a) = S^k(b), k = 1, 2;$$

$$S'''(x_p + 0) = S'''(x_p - 0), p = 1, p = N-1.$$

При определении аналитических зависимостей для кинетических процессов (по каждому из частных критериев) нами использовался приведенный ниже алгоритм построения интерполяционных кубических сплайнов. А именно, на каждом из отрезков $[x_i, x_{i+1}]$ сплайн

$$S(x) = a_i + b_i x + c_i x^2 + d_i x^3$$

представлялся в специальном виде, что позволяло уменьшить число неизвестных коэффициентов. Принималось:

$$S'(x_i) = m_i, i = \overline{0, N};$$

$$h_i = x_{i+1} - x_i, t = \frac{(x - x_i)}{h_i}.$$

Кубический сплайн на отрезке $[x_i, x_{i+1}]$ представлялся в виде

$$S(x) = f_i (1-t)^2 (1+2t) + f_{i+1} t^2 (3-2t) + m_i h_i (1-t)^2 - m_{i+1} t^2 (1+t) h_i$$

(на каждом из $[x_i, x_{i+1}]$ функция $S(x)$ непрерывна вместе со своей первой производной всюду на отрезке $[a, b]$). Из условия непрерывности второй производной во всех внутренних узлах следует:

$$\lambda_i m_{i-1} + 2m_i + \mu_i m_{i+1} = 3 \left(\mu_i \frac{f_{i+1} - f_i}{h_i} + \lambda_i \frac{f_i - f_{i-1}}{h_{i-1}} \right), \quad (2)$$

$$\mu_i = \frac{h_{i-1}}{h_{i-1} + h_i}, \lambda_i = 1 - \mu_i = \frac{h_i}{h_{i-1} + h_i}, i = \overline{0, N}.$$

С учетом граничных условий добавятся уравнения:

$$2m_0 + m_1 = 3 \frac{f_1 - f_0}{h_0}, m_{N-1} + 2m_N = 3 \frac{f_N - f_{N-1}}{h_{N-1}}.$$

Построение кубического сплайна свелось к решению линейной системы относительно неизвестных коэффициентов m_i :

$$2m_0 + m_1 = 3 \frac{f_1 - f_0}{h_0},$$

$$\lambda_i m_{i-1} + 2m_i + \mu_i m_{i+1} = 3 \left(\mu_i \frac{f_{i+1} - f_i}{h_i} + \lambda_i \frac{f_i - f_{i-1}}{h_{i-1}} \right), \quad (3)$$

$$m_{N-1} + 2m_N = 3 \frac{f_N - f_{N-1}}{h_{N-1}}.$$

Весьма актуальна задача разбиения строго возрастающей последовательности x_1, x_2, \dots, x_m значений x (m достаточно велико) на возможно более длинные последовательности $x_1, x_2, \dots, x_{l_1}; x_{l_1+1}, \dots, x_{l_2}; x_{l_2+1}, \dots, x_{l_h}; x_{l_h+1}, \dots, x_m$. А именно так, чтобы каждая из них (за возможным исключением последней) содержала бы более трех точек и чтобы на каждой такой последовательности можно было аппроксимировать функцию $y = y(x)$ (по методу наименьших квадратов) полиномом степени не выше третьей с допустимой погрешностью $\varepsilon > 0$ (равномерное приближение). Если же последняя последовательность содержит лишь три точки $x_{l_h+1}, x_{l_h+2}, x_m$, то на ней произвести параболическую интерполяцию функции $y = y(x)$; если лишь две точки x_{l_h+1}, x_m – линейную; если лишь одну точку x_m – придать аппроксимирующей функции в этой точке заданное значение y_m аппроксимируемой функции. Выполнив эту аппроксимацию, сочленив полиномы на стыках $[x_{l_1}, x_{l_1+1}], [x_{l_2}, x_{l_2+1}], \dots, [x_{l_h}, x_{l_h+1}]$ гладким образом с помощью полиномов третьей степени, а если последняя последовательность содержит лишь одну точку $x_{l_h+1} = x_m$, то на последнем стыке $[x_{l_h}, x_m]$ сочленив полином и значение y_m в конечной точке x_m гладким образом с помощью полинома второй степени. В результате будет

произведена *равномерная аппроксимация с допустимой погрешностью сплайном не выше третьей степени*.

Автономное программное обеспечение для гладкой аппроксимации будет объединением информационно-связных модулей:

- ввод данных, подготовка первого цикла (модуль В);
- аппроксимация по методу наименьших квадратов полиномом степени не выше третьей с допустимой погрешностью на возможно более длинной (более трех точек) последовательности, начиная с данной точки (цикл) (модуль А);
- интерполяция на последней последовательности, если она содержит не более трех точек (модуль И);
- переадресация для перехода от одной последовательности к другой (от одного цикла А к другому в пределах всей заданной последовательности значений независимой переменной) (модуль И);
- сочленение аппроксимирующей функции на стыках гладким образом полиномами третьей, а на последнем стыке, возможно, второй степени (модуль С).

Приведем логические схемы модулей.

Модуль В

1) Ввод пар значений $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)$; числа m этих значений ($m > 3$); допустимой погрешности ε ($\varepsilon > 0$) равномерного приближения.

2) Передача значений в первый цикл:

$$\xi_i = x_i, \eta_i = y_i \quad (i = 1, 2, \dots, m); \quad \mu = m;$$

$z = 1$ (начало счета циклов);

$k = 0$ (начало счета пройденных точек).

3) Переход к модулю А.

Модуль А

$P_z(x) = \sum_{j=0}^n a_z(j) x^j$ – аппроксимирующий полином на z -м цикле;

$P_{nk}(x) = \sum_{j=0}^n a_{nk}(j) x^j$ – полином степени n , построенный методом наименьших

квадратов по значениям y_1, y_2, \dots, y_k функции $y = y(x)$ в точках x_1, x_2, \dots, x_k .

Модуль И

Пусть $Q(x) = ax^2 + bx + c$ – интерполяционный полином.

1) Ввод μ :

– если $\mu = 1$, то вводится η_1 и полагаем $a = 0, b = 0, c = \eta_1$;

– если $\mu = 2$, то вводятся $\xi_1, \xi_2, \eta_1, \eta_2$ и полагаем

$$a = 0, \quad b = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\xi_2 - \xi_1}, \quad c = \frac{\xi_2 \eta_1 - \xi_1 \eta_2}{\xi_2 - \xi_1};$$

– если $\mu = 3$, то вводятся $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \eta_1, \eta_2, \eta_3$ и полагаем

$$a = \frac{\eta_3 - 2\eta_2 + \eta_1}{2(\xi_2 - \xi_1)^2}, \quad b = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\xi_2 - \xi_1} - \frac{(\eta_3 - 2\eta_2 + \eta_1)(\xi_2 + \xi_1)}{2(\xi_2 - \xi_1)^2},$$

$$c = \frac{(\eta_3 - 2\eta_2 + \eta_1)\xi_2\xi_1}{2(\xi_2 - \xi_1)^2} - \frac{\eta_2 - \eta_1}{\xi_2 - \xi_1}.$$

2) Выдача результатов вычислений a, b, c и переход к модулю С.

Модуль С

1) Для каждого z -го стыка $[\xi_1, \xi_2]$, где $\xi_1 = x_{k_1+k_2+\dots+k_z}$, $\xi_2 = x_{k_1+k_2+\dots+k_z+1}$, строится сочленяющий полином $R_z(x)$.

При $\xi_2 = x_m$ коэффициенты $b_1(z)$, $b_2(z)$, $b_3(z)$ полинома $R_z(x) = b_1(z)x^2 + b_2(z)x + b_3(z)$, ($b_0(z) = 0$) находятся из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \xi_1^2 b_1(z) + \xi_1 b_2(z) + b_3(z) &= P_z(\xi_1) \\ 2\xi_1 b_1(z) + b_2(z) &= P'_z(\xi_1) \\ \xi_2^2 b_1(z) + \xi_2 b_2(z) + b_3(z) &= P_{z+1}(\xi_2) \end{aligned} \right\}$$

единственным образом, так как для любых различных точек определитель системы $(\xi_2 - \xi_1)^2$ отличен от нуля.

Аналогично коэффициенты $b_0(z)$, $b_1(z)$, $b_2(z)$, $b_3(z)$ полинома $R_z(x) = b_0(z)x^3 + b_1(z)x^2 + b_2(z)x + b_3(z)$ при $\xi_2 < x_m$ также определяются единственным образом; $(\xi_2 - \xi_1)^4 \neq 0$.

2) Выдача результатов вычислений $b_0(z)$, $b_1(z)$, $b_2(z)$, $b_3(z)$.

Такая гладкая аппроксимация с делением отрезка $[a, b]$ с выделением возможно более длинных последовательностей $x_1, x_2, \dots, x_{l_1}; x_{l_1+1}, \dots, x_{l_2}; x_{l_2+1}, \dots, x_{l_h}; x_{l_h+1}, \dots, x_m$ наиболее целесообразна в случаях, когда кинетические процессы формирования физико-механических характеристик материалов содержат экстремумы, точки перегиба, концы которых имеют экспоненциальный аperiодический характер. Указанные характерные точки определяются по полученным аппроксимирующим зависимостям в результате параметрической оптимизации кинетических процессов. Наконец, определится обобщенный критерий качества композита на основе формализованных частных критериев [1–3].

Список литературы

1. Данилов, А.М. Практические методы аппроксимации кинетических процессов в полидисперсных системах / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 2 (27). – С. 70–74.
2. Данилов, А.М. Оптимизация структуры и свойств композиционных материалов с позиций строительного материаловедения и теории систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2008. – № 1. – С. 84–90.
3. Гарькина, И.А. Управление структурой и свойствами композитов для защиты от радиации / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.А. Смирнов // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – Т. 32. – № 2.3. – С. 340–343.

References

1. Danilov, A.M. Practical approximation methods of kinetic processes in polydisperse systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2016. – № 2 (27). – P. 70–74.
2. Danilov, A.M. Optimization of the structure and properties of composite materials from the standpoint of building materials and systems theory / A.M. Danilov, I.A. Garkina, E.V. Korolev // Regional architecture and engineering. – 2008. – № 1. – P. 84–90.
3. Garkina, I.A. Control structure and properties of composites for radiation protection / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.A. Smirnov // Control systems and information technology. – 2008. – V. 32. – № 2.3. – P. 340–343.

УДК 691.54

Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г.Шухова

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

Алфимова Наталия Ивановна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительное
материаловедение, изделия и конструкции»
E-mail: alfimovan@mail.ru

Никифорова Наталия Андреевна,
магистрант кафедры «Строительное
материаловедение, изделия и конструкции»

Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov

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

Alfimova Nataliy Ivanovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building materials, products
and designs»
E-mail: alfimovan@mail.ru

Nikiforova Nataliy Andreevna,
student of the department of the «Building
materials, products and designs»

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ВУЛКАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Н.И. Алфимова, Н.А. Никифорова

Приведены результаты исследований по подбору оптимальных параметров изготовления тонкомолотых многокомпонентных цементов с использованием вулканогенно-осадочных пород. Получены зависимости предела прочности при сжатии и длительности изготовления композиционных вяжущих от количества кремнеземистого компонента и его начальной удельной поверхности, позволяющие подобрать параметры процессов изготовления композиционных вяжущих таким образом, чтобы обеспечить максимальные значения прочности при минимальных затратах электроэнергии.

Ключевые слова: композиционные вяжущие, вулканическое сырье, энергосбережение, помол

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF MANUFACTURE OF COMPOSITE BINDERS BASED ON VOLCANIC RAW MATERIALS

N.I. Alfimova, N.I. Nikiforova

The results of studies on the selection of optimal parameters for production of fine multicomponent cement using volcanic-sedimentary rocks are presented. The dependences of ultimate strength under compression and the duration of the manufacturing of composite binders from the amount of the siliceous component and its initial specific surface area, which allows to choose the parameters of the manufacturing processes of composite binders in such a way as to provide maximum strength at minimum cost of energy are obtained.

Keywords: composite binders, raw volcanic materials, energy saving, grinding

Введение. Энергосбережение и рациональное природопользование – приоритетное направление развития строительных материалов во всем мире. Прогрессирование данных тенденций связано не только с комплексным вовлечением в производство сырьевых ресурсов, но и с поиском новых, позволяющих использовать энергию геологических процессов, направленных на их образование [1, 2].

С этой позиции особый интерес представляют продукты вулканической деятельности, которые, как известно, обладают избыточным запасом внутренней энергии, а следовательно, применение их будет способствовать не только снижению энергоёмкости процесса производства, но и повышению качества строительных материалов [3–7]. Актуальность их использования в строительном материаловедении заключается также в том, что на данный момент их скопления по всему миру исчисляются миллиардами тонн. На территории Российской Федерации самая перспективная сырьевая база такого сырья расположена на Камчатском полуострове.

Комплексное исследование вулканогенно-осадочных пород Камчатского полуострова показало целесообразность их использования в качестве компонента композиционных вяжущих, таких, как тонкомолотые многокомпонентные цементы (ТМЦ). Эффективность ТМЦ доказана многочисленными исследованиями, что связано в первую очередь с возможностью замены существенной части клинкерной составляющей на кремнеземсодержащий компонент, а также формированием у бетонов, изготовленных с использованием таких вяжущих, специальных свойств [8–18]. Однако повсеместное внедрение композиционных вяжущих, сдерживают вопросы, связанные со значительными энергозатратами, направленными на процесс их изготовления путем помола компонентов.

В настоящее время наиболее осуществимым является способ изготовления композиционных вяжущих путем совместного помола товарного портландцемента с добавками. Однако в данном случае не учитывается ряд факторов, таких, как твердость компонентов, способность их к агрегации, соотношение компонентов в смеси и их гранулометрия, которые оказывают существенное влияние на скорость размола и активность полученных вяжущих [19, 20].

Были проведены исследования по разработке принципов оптимизации параметров изготовления тонкомолотых многокомпонентных цементов с использованием вулканогенно-осадочных пород.

Методология. Помол сырья производился в вибрационной лабораторной мельнице. Анализ морфологии поверхности частиц выполнялся с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU, включающего энергодисперсный спектрометр X-MAX 50 OxfordInstrumentsNanoAnalysis.

Выявление влияния способа помола на его длительность и качественные характеристики тонкомолотых цементов, изготовленных с различным содержанием кремнеземистого компонента, производилось с помощью метода математического планирования эксперимента.

Вяжущие изготавливались по двухстадийной технологии. В качестве факторов варьирования, направленных на определение оптимальных параметров изготовления композиционных вяжущих, были приняты: количество кремнеземистого компонента (70–30 % от массы КВ) и его начальная удельная поверхность.

Выходными параметрами служили предел прочности при сжатии и время, затраченное на изготовление композиционного вяжущего. В качестве контрольных использовались показатели композиционных вяжущих, изготовленных путем совместного помола компонентов.

После обработки результатов с помощью метода математического планирования эксперимента были получены уравнения регрессии и построены зависимости предела прочности при сжатии (рис. 1) и времени, затраченного на помол (рис. 2), от варьируемых факторов.

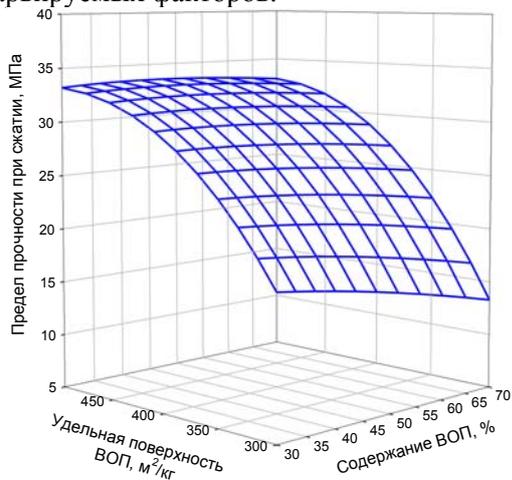


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии от количества ВОП и их удельной поверхности

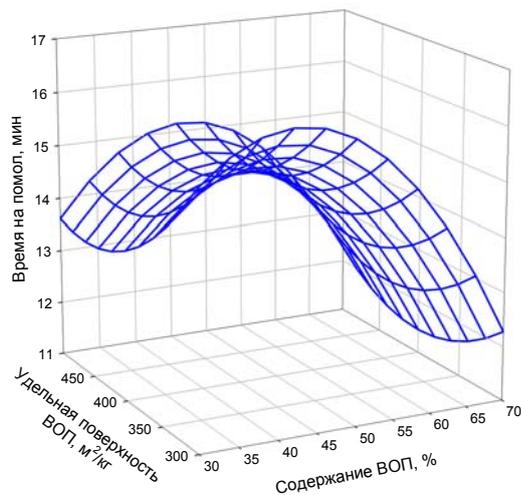


Рис. 2. Зависимость времени на помол от количества ВОП и его удельной поверхности

Основная часть. Анализируя полученные результаты, необходимо учитывать, что на скорость размола и активность полученных вяжущих будет влиять ряд факторов, таких, как твердость компонентов, их способность к агрегации, соотношение компонентов в смеси и их гранулометрия. Так, компоненты с более постоянным размером частиц, в отличие от компонентов с разнообразным гранулометрическим составом, будут в меньшей степени подвержены агрегации, при этом, чем лучше будет размалываться материал, тем выше будет его склонность к агрегации. Помимо этого необходимо учитывать взаимодействие компонентов при их совместном помоле, которое также будет зависеть от твердости компонентов и от их склонности к агрегации. В системе «портландцемент – вулканогенно-осадочные породы» наибольшей размолоспособностью обладают ВОП, в то время как в системе «портландцемент – кварцевый песок» – портландцемент; поэтому закономерности взаимодействия компонентов при изготовлении тонкомолотых цементов с использованием исследуемого сырья природного и техногенного происхождения будут различными.

Так, анализ влияния варьируемых факторов на выходные параметры при изготовлении тонкомолотых цементов с использованием продуктов вулканической деятельности показал, что время, затрачиваемое на получение вяжущего заданной удельной поверхности, вне зависимости от способа помола, возрастает при увеличении доли портландцемента в смеси от 30 до 50 %, что обусловлено его большей твердостью. Однако при дальнейшем увеличении доли клинкерной составляющей до 70 % время на помол сокращается, это можно объяснить уменьшением доли ВОП, как более склонного к агрегации компонента, и увеличением абразивного воздействия портландцемента, как более твердого компонента.

В ходе изучения влияния способа помола на предел прочности при сжатии композиционных вяжущих было выявлено, что ТМЦ-70 и ТМЦ-30, изготовленные совместным помолком компонентов, отличаются незначительно большими значениями данного показателя, чем те же КВ, изготовленные по двухстадийной схеме. В то время для ТМЦ-50 большие значения прочности характерны для вяжущего, изготовленного по двухстадийной схеме с домолом ВОП до 300 м²/кг.

Также было установлено, что при отдельном помолке прочность при сжатии уменьшается с ростом начальной удельной поверхности вулканогенно-осадочных пород. Это обусловлено тем, что с увеличением дисперсности ВОП сокращается время на совместный помол компонентов вяжущего и, как следствие, снижается тонкость помола частиц цемента, что и приводит к снижению предела прочности при сжатии КВ.

Необходимо также отметить, что вне зависимости от соотношения компонентов в смеси применение отдельного помола способствует сокращению длительности процесса и, как следствие, энергозатрат. Так, при изготовлении ТМЦ-30 длительность помола в среднем сокращается на 43 %, ТМЦ-50 – на 36 % и ТМЦ-70 – на 51 %. Это обусловлено снижением негативного воздействия агрегации частиц при применении двухстадийной схемы изготовления КВ.

Таким образом, при использовании двухстадийной технологии для получения ТМЦ-30 и ТМЦ-50 наиболее целесообразным с точки зрения получения оптимальных значений выходных параметров является домол ВОП до 300 м²/кг, а ТМЦ-70 – 400 м²/кг.

Анализ микроструктуры композиционных вяжущих, изготовленных совместным и отдельным помолком компонентов, позволил выявить различия в характере новообразований. Наиболее ярко выраженные структурные единицы были установлены при рассмотрении ТМЦ-70, что обусловлено содержанием большего количества клинкерной составляющей.

Анализ морфологии новообразований ТМЦ-70 показал, что для образцов, изготовленных по одно- (рис. 3, а) и двухстадийной технологии с домолом вулканогенно-осадочных пород до 300 м²/кг (см. рис. 3, б, в), характерна довольно однородная структура. При этом плотная масса состоит из слабоограниченных, плохо раскристаллизованных рентгеноаморфных новообразований, в то время как пустоты КВ заполняют довольно хорошо сформированные удлиненные кристаллы, соединяющие стенки пор.

Наиболее ярко выраженной системой новообразований отличаются композиционные вяжущие, изготовленные совместным помолом компонентов.

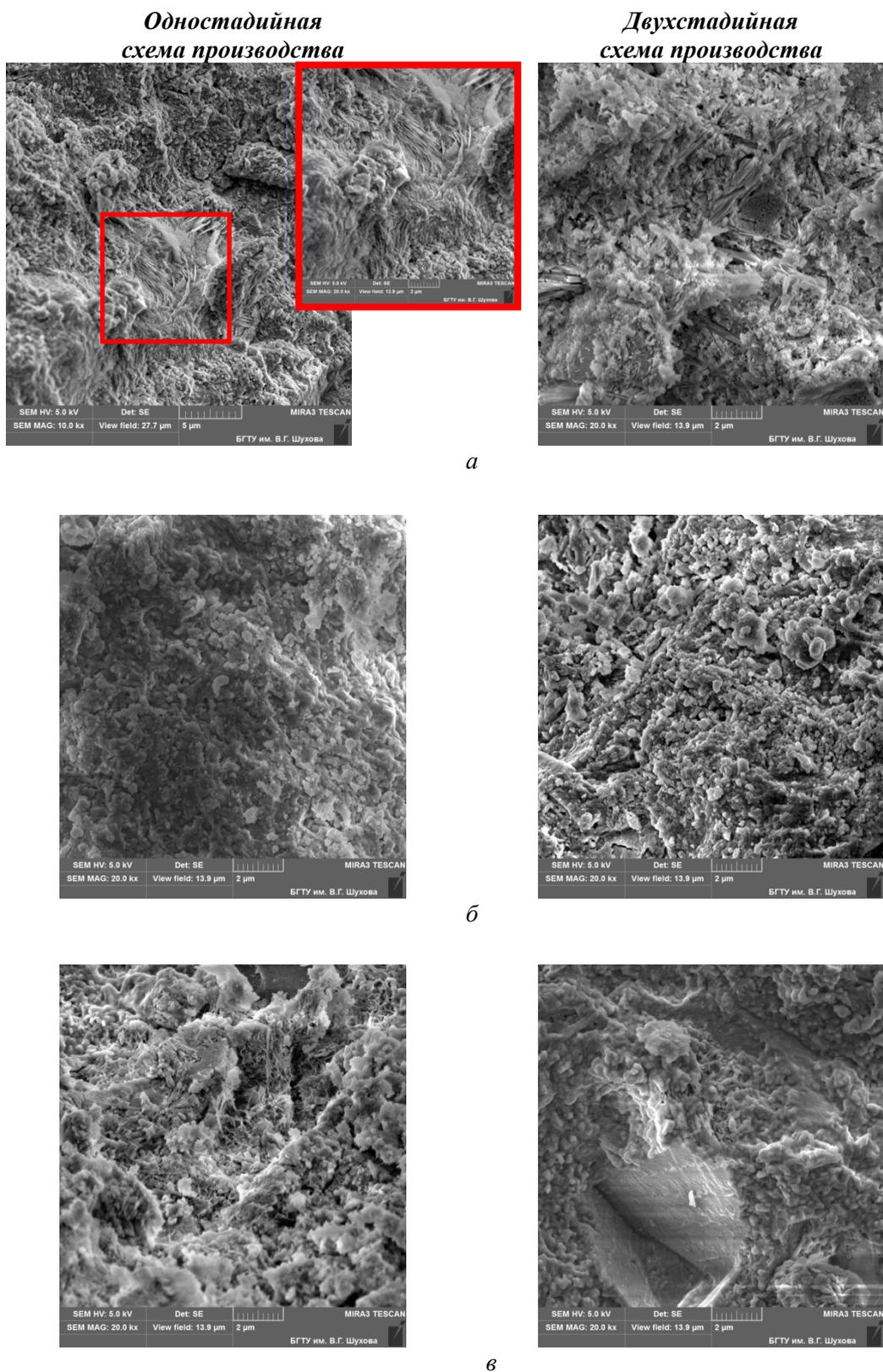


Рис. 3. Микроструктура ТМЦ-70 (а); ТМЦ-50 (б); ТМЦ-30 (в), изготовленных с использованием ВОП

В то же время для образцов ТМЦ-70, изготовленных по двухстадийной технологии с домолом вулканогенно-осадочных пород до 500 м²/кг, характерна рыхлая структура, представленная рентгеноаморфными новообразованиями. Это обусловлено тем, что значительное увеличение удельной поверхности ВОП, обладающих лучшей размолоспособностью, при совместном помоле с портландцементом отрицательно сказывается на его удельной поверхности, что, в свою очередь, способствует снижению его реакционной способности в сравнении с вяжущими, приготовленными альтернативными способами.

Анализ рентгенограмм вяжущих, полученных с использованием вулканогенно-осадочных пород, позволил выявить, что вне зависимости от способа изготовления интенсивность пиков, соответствующих портландиту и клинкерным минералам, практически идентична с незначительным снижением для КВ, полученных совместным помолом компонентов.

Таким образом, разработаны принципы оптимизации параметров изготовления тонкомолотых многокомпонентных цементов, заключающиеся в том, что вне зависимости от варьируемых факторов – количества кремнеземистого компонента и его начальной удельной поверхности – применение раздельной технологии способствует сокращению длительности помола и, как следствие, энергоёмкости изготовления ТМЦ. Установлено, что применение двухстадийной технологии снижает негативное воздействие процессов, обусловленных различием качественных характеристик (гранулометрия, размолоспособность, агрегация) компонентов.

Список литературы

1. Лесовик, В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород / В.С. Лесовик. – М.: АСВ, 2006. – 112 с.
2. Лесовик, В.С. Геоника. Предмет и задачи / В.С. Лесовик. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 219 с.
3. К вопросу об использовании вулканического сырья Камчатки в качестве минеральной добавки / П.В. Трунов [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – №4. – С. 85–90.
4. Повышение эффективности использования продуктов вулканической деятельности / Н.И. Алфимова, Н.Н. Шаповалов, Е.Е. Шадский, Т.Г. Юракова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – №5. – С. 11–14.
5. Lesovik, R.V. Efficient binding using composite tuffs of the middle east / R.V. Lesovik, M.S. Ageeva, M. Shakarna // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 24. – № 10. – P. 1286–1290.
6. Efficient binding using composite tuffs of the Middle East / V.S. Lesovik [etc.] // World Applied Sciences Journal. – 2013. – №24 (10). – P. 1286–1290.
7. Organic-mineral modifier on the basis of volcanogenic-sedimentary rocks / N.I. Alfimova, E.E. Shadskiy, R.V. Lesovik, M.S. Ageeva // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). – 2015. – Vol. 10. – № 24. – P. 45131–45136.
8. Лесовик, В.С. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства / В.С. Лесовик, Л.А. Сулейманова, К.А. Кара // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – №3. – С. 10–20.
9. Кара, К.А. Газобетон на композиционном вяжущем с использованием отсеков дробления известняка / К.А. Кара, А.Г. Сулейманов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 5. – С. 64–66.
10. Energy-efficient concretes for green construction / L.A. Suleymanova [etc.] // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. – № 12. – P. 1087–1090.
11. Сухие смеси для отделочных работ на композиционных вяжущих / Г.Г. Ильинская, В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, А.С. Коломацкий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 4. – С. 15–19.

12. Сухие отделочные строительные смеси на основе композиционных вяжущих для устройства теплоизоляционных систем / Г.Г. Ильинская [и др.]// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – №6. – С. 139–143.
13. Pospelova, E.A. Statistical analysis as an instrument for improving the quality of products from cellular concrete / E.A. Pospelova, M.Y. Elistratkin, D.D. Netsvet // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 670–671. – P. 1624–1628.
14. Ключев, С.В. Фибробетон на техногенном песке КМА и композиционные вяжущие для промышленного и гражданского строительства: монография / С.В. Ключев, Р.В. Лесовик, А.В. Ключев. – Белгород: Изд-во БГТУ. – 124 с.
15. Fiber concrete on compositeknittingandindustrialsand КМА forbentdesigns / R.V. Lesovik [etc.]//World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 30. – № 8. – P. 964–969.
16. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel / R.V. Lesovik [etc.]// World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 24 (12). – P.1691–1695
17. The modified composite slag-cement binder / M.S. Ageeva [etc.]// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. – № 8. – P. 1381–1385.
18. Assessment of the suitability of the opal-cristoballite rocks of korkinsk deposit in the construction industry / R.V. Lesovik, A.N. Nosova, A.V. Savin, E.V. Fomina //World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 29. – № 12. – P. 1600–1604.
19. Кара, К.А. Изучение размолоспособности кварцсодержащих добавок как компонента композиционных вяжущих / К.А. Кара // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 5. – С. 45–52.
20. Lesovik, V.S. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement / V.S. Lesovik, N.I. Alfimova, P.V. Trunov // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. (11). – P. 745–748.

References

1. Lesovik, V.S. Improving the efficiency of the production of building materials taking into account the genesis of rocks / V.S. Lesovik. – M.: Publishing House Associ. building Universities. – 2006. – 112 p.
2. Lesovik, V.S. Geonika. The object and purpose / V.S. Lesovik. – Belgorod: Publishing house BSTU, 2012. – 219 p.
3. To a question about the use of raw materials of volcanic Kamchatka as a mineral additive / P.V. Trunov [etc.] // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2014. – №4. – P. 85–90.
4. Improving the efficiency of the use of products of volcanic activity / N.I. Alfimova, N.N. Shapovalov, E.E. Shadskiy, T.G. Yurakova // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2015. – № 5. – P. 11–14.
5. Lesovik, R.V. Efficient bindings using composite tuffs of the middle east / R.V. Lesovik, M.S. Ageeva, M. Shakarna // World Applied Sciences Journal. – 2013. – T. 24. – № 10. – P. 1286–1290.
6. Efficient bindings using composite tuffs of the Middle East / V.S. Lesovik [etc.]// World Applied Sciences Journal. – 2013. – №24 (10). – P. 1286–1290.
7. Organic-mineral modifier on the basis of volcanogenic-sedimentary rocks / N.I. Alfimova, E.E. Shadskiy, R.V. Lesovik, M.S. Ageeva // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). – 2015. – Vol. 10. – № 24. – P. 45131–45136.
8. Lesovik, V.S. Energy efficient aerated concrete on composite binders for monolithic building / V.S. Lesovik, L.A. Suleymanova, K.A. Kara // News of higher educational institutions. Building. – 2012. – №3. – P. 10–20.
9. Kara, K.A. Aerated concrete in the composite binder using crushed limest one screenings / K.A. Kara, A.G. Suleymanov // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2013. – № 5. – P. 64–66.
10. Energy-efficient concretes for green construction / L.A. Suleymanova [etc.]// Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. – № 12. – P. 1087–1090.

11. Dry mixes for finishing work on composite binders / G.G. Il'inskaya, V.S. Lesovik, L.Kh. Zagorodnyuk, A. Kolomatskiy // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2012. – №. 4. – P. 15–19.
12. Dry finishing mixes on the basis of composite binders for the device heat-insulating systems / G.G. Il'inskaya [etc.] // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2015. – №. 6. – P. 139–143.
13. Pospelova, E.A. Statistical analysis as an instrument for improving the quality of products from cellular concrete / E.A. Pospelova, M.Y. Elistratkin, D.D. Netsvet // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 670–671. – P. 1624–1628.
14. Klyuev, S.V. Fiber concrete on technogenics and of Kursk magnetic anomaly and composite binders for industrial and civil construction / S.V. Klyuev, R.V. Lesovik, A.V. Klyuyev. – Belgorod: Izd-vo BGTU. – 124 p.
15. Fiber concrete on composite knitting and industrials and KMA for bent designs / R.V. Lesovik [etc.]//World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 30. – № 8. – P. 964–969.
16. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel / R.V. Lesovik [etc.]// World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 24 (12). – P.1691–1695
17. Modified composite slag-cement binder / M.S. Ageeva [etc.]// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. – № 8. – P. 1381–1385.
18. Assessment of suitability of the opal-cristoballite rocks of the korkinsk deposit in the construction industry / R.V. Lesovik, A.N. Nosova, A.V. Savin, E.V. Fomina //World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 29. – № 12. – P. 1600–1604.
19. Kara, K.A. Study of the grindability of quartz-containing additives as a component of composite binders / K.A. Kara // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2016. – № 5. – P. 45–52.
20. Lesovik, V.S. Reduction of energy consumption in manufacturing fineground cement / V.S. Lesovik, N.I. Alfimova, P.V. Trunov // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. (11). – P. 745–748.

Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева

430005, Республика Мордовия, г. Саранск,
ул. Большевистская, 68,
тел. (8342) 48-25-64

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

Бузулуков Виктор Иванович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Физическая химия»
E-mail: buzulukov-v@mail.ru

Пронин Дмитрий Николаевич,
аспирант кафедры «Прикладная механика»
E-mail: pronin-sds@mail.ru

Mordovian State University
named after N.P. Ogarev

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

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

Buzulukov Victor Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Physical chemistry»
E-mail: buzulukov-v@mail.ru

Pronin Dmitry Nikolaevich,
Postgraduate of the department «Applied
mechanics»
E-mail: pronin-sds@mail.ru

МОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ СУПЕР-, ГИПЕРПЛАСТИФИКАТОРА И УГЛЕРОДНОГО ПОРОШКА

В.Д.Черкасов, В.И.Бузулуков, Д.Н.Пронин

Приведены данные о прочности образцов портландцементного камня после 28 суток твердения, с комплексной добавкой на основе углеродного порошка и супер-, гиперпластификатора.

Ключевые слова: цемент, углеродные частицы, супер-, гиперпластификатор, прочность

MODIFICATION OF CEMENT STONE WITH COMPLEX ADDITIVE BASED ON SUPERPLASTICIZER AND CARBON POWDER

V.D.Cherkasov, V.I.Buzulukov, D.N.Pronin

The data about the strength of Portland cement stones samples after 28 days of hardening with a complex additive based on carbon powder and superplasticizer.

Keywords: cement, carbon particles, super-, giperplasticizer, strength

Эффективным способом улучшения свойств бетона является введение в его состав различных модифицирующих добавок. Установлено, что наиболее эффективным является применение в бетонах не отдельных модификаторов, а специально подобранных комплексов в зависимости от назначения бетона и предъявляемых к нему требований. Обязательным компонентом комплексов является супер- и гиперпластификатор, как наиболее эффективная добавка.

В последнее время активно проводятся исследования по использованию в качестве модификаторов бетона наночастиц [1, 2]. В области наноразмерного масштаба частиц имеют место качественные эффекты, определяемые зависимостью химических и физических их свойств от соотношения числа атомов в приповерхностных и внутренних объемах частиц. Такие частицы и их ансамбли приобретают иную физико-химическую и механохимическую активность, в силу чего могут принципиальным образом изменять процессы синтеза, структурообразования, менять термодинамическую и энергетическую обстановку в дисперсной системе, какой является бетонная смесь.

Эффект от введения наноразмерных частиц принципиально выражается в том, что в системе появляется не только дополнительная граница раздела фаз, но и носитель квантово-механических проявлений [2].

Анализ состояния и тенденций развития объектов nanoиндустрии в настоящее время позволяет сделать вывод о том, что одной из наиболее перспективных областей нанотехнологий является синтез углеродных наноматериалов (УНМ). К широко распространенным способам синтеза нанодисперсных добавок, предлагаемых в настоящее время, относятся технологии, для которых характерно применение дорогостоящего и энергоёмкого оборудования, повышенных давлений и температур, плазмы и дугового разряда, а также токсичных реактивов с многостадийной химической очисткой, что приводит к значительному увеличению стоимости нанотехнологической продукции и препятствует ее широкомасштабному внедрению в строительную отрасль [3]. В этой связи актуальным и перспективным научно-исследовательским направлением является изыскание доступных и экологически безопасных способов получения эффективных микро- и наномодификаторов структуры и свойств цементных композитов.

Проводились исследования, направленные на изучение влияния добавок углеродного порошка и супер-, гиперпластификатора на прочность цементного камня в зависимости от количества и состава вводимого вещества. Для проведения эксперимента изготавливались и испытывались образцы согласно ГОСТ 30744–2001 «Цементы. Методы испытания с использованием полифракционного песка».

Для исследований применялись: цемент М500 Д0 ГОСТ 10178–85, мелкий заполнитель – песок по ГОСТ 8736, вода затворения ГОСТ 23732–2011, суперпластификатор С-3 (раствор), гиперпластификатор MasterGlenium51 (раствор).

В основу метода получения углеродного порошка был положен принцип технологии «сверху вниз», связанный с уменьшением размеров применяемого сырья вплоть до микро- и наноразмеров путём совместного помола. Методом фотонно-корреляционной спектроскопии проведено исследование распределения по размеру частиц углерода (рис.1).

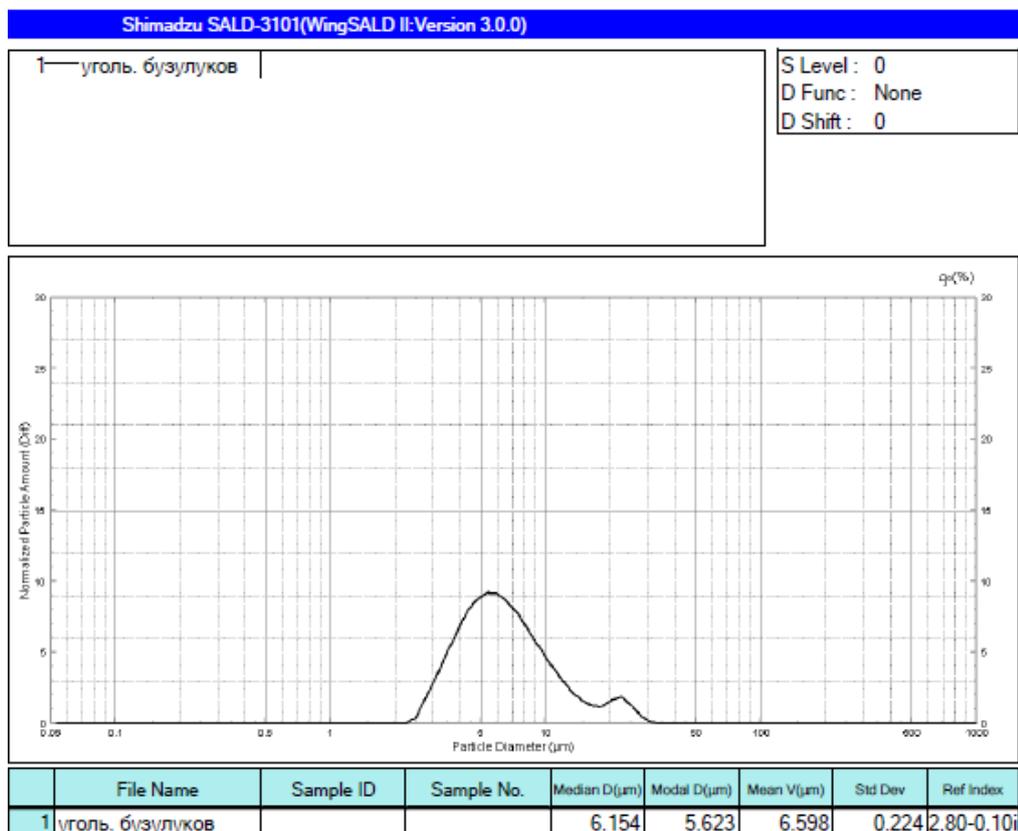


Рис.1. Распределение по размерам частиц углерода (µm)

Результаты исследований показали, что углеродный порошок состоит из частиц размером от 2 до 30 микрон.

Для установления эффективности применения углеродного порошка проводилась сопоставительная оценка влияния различных модификаций добавок на прочность цементного камня. В результате проведённых экспериментов установлены зависимости прочности на сжатие и на растяжение при изгибе образцов цементного камня от состава цементной смеси (рис.2-5).

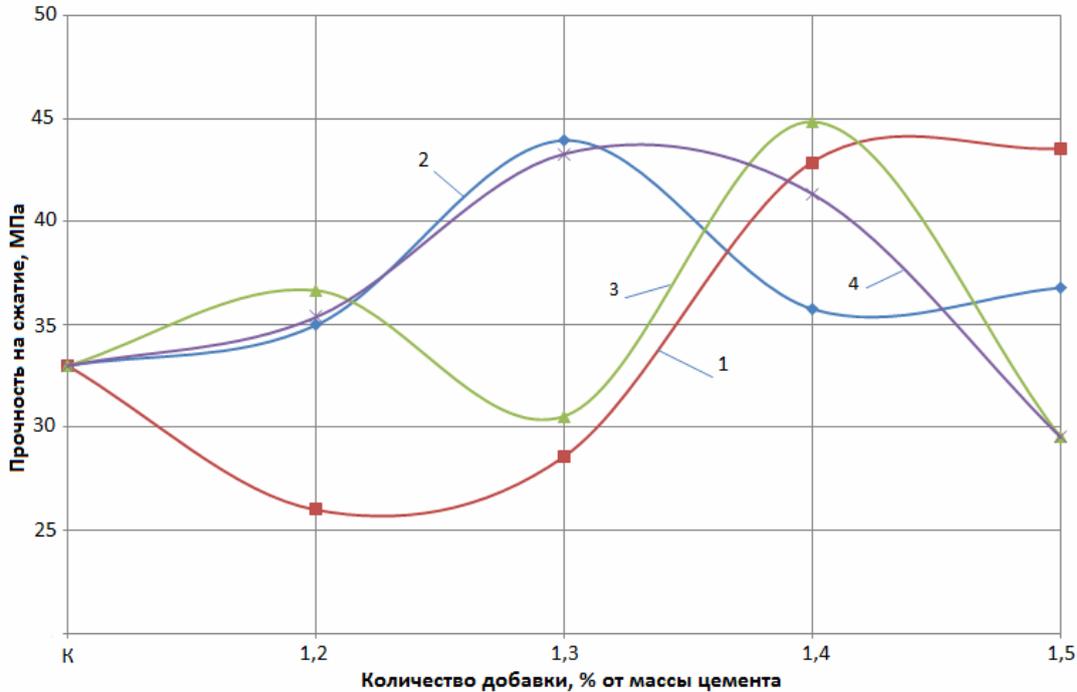


Рис.2. Зависимость изменения прочности цементного камня при сжатии от количества вводимого модификатора:

1 – углеродные частицы немодифицированные; 2, 3 – углеродные частицы, модифицированные ионами кальция в различных условиях; 4 – углеродные частицы, модифицированные ионами магния

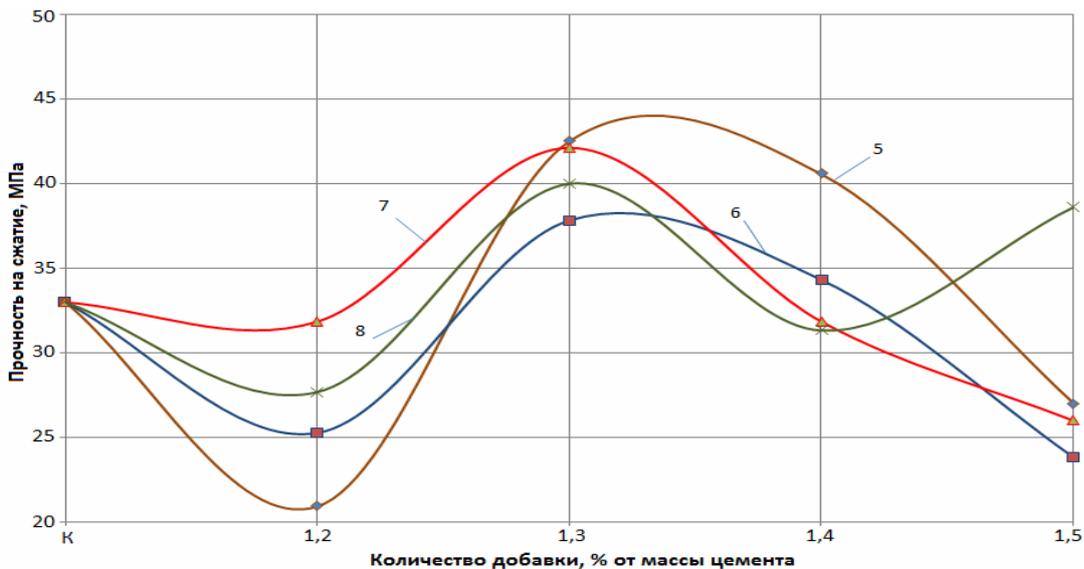


Рис.3. Зависимость изменения прочности цементного камня при сжатии от количества вводимого модификатора:

5 – кислотно-активизированные углеродные частицы; 6, 7 – кислотно-активизированные углеродные частицы, модифицированные ионами магния; 8 – кислотно-активизированные углеродные частицы, модифицированные ионами магния

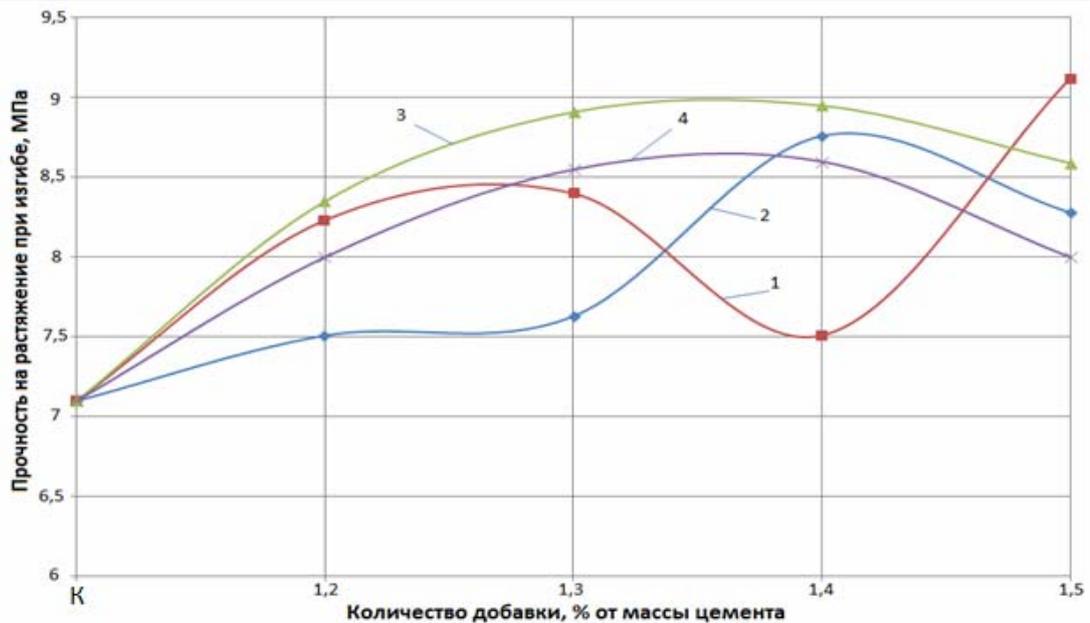


Рис.4. Зависимость изменения прочности цементного камня на растяжение при изгибе от количества вводимого модификатора:
 1 – углеродные частицы немодифицированные; 2, 3 – углеродные частицы, модифицированные ионами кальция в различных условиях; 4 – углеродные частицы, модифицированные ионами магния.

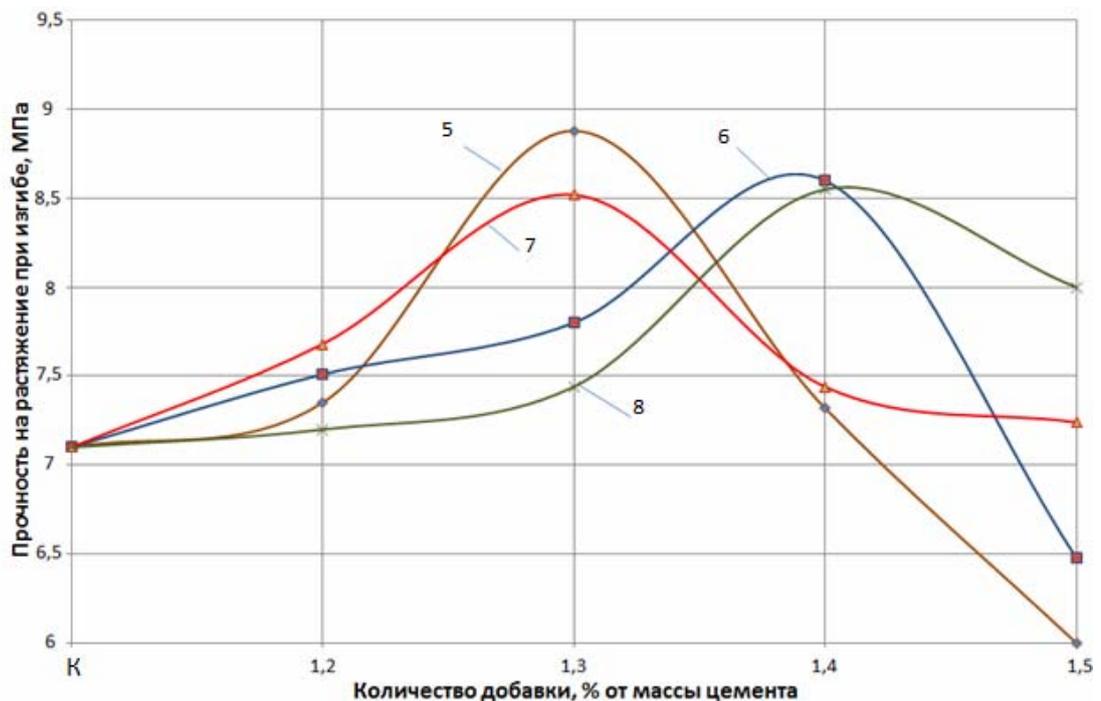


Рис.5. Зависимость изменения прочности цементного камня на растяжение при изгибе от количества вводимого модификатора:
 5 – кислотно-активизированные углеродные частицы; 6, 7 – кислотно-активизированные углеродные частицы, модифицированные ионами магния; 8 – кислотно-активизированные углеродные частицы, модифицированные ионами магния

Из представленных данных видно, что в среднем увеличение прочности цементного камня при использовании различных модификаций добавок углеродного порошка сопоставимо. Поэтому для установления более точных зависимостей прочности цементного камня от количества введенной добавки проводился ряд сравнительных

экспериментов, в которых переменной являлось количество вводимой добавки немодифицированного углеродного порошка. Результаты представлены на рис. 6-7.

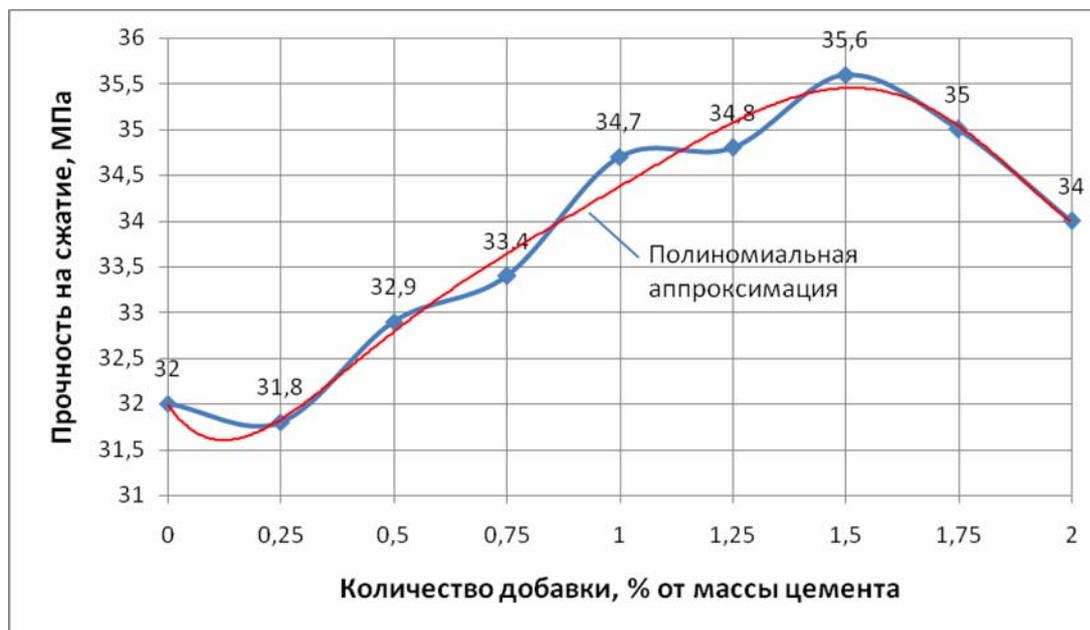


Рис.6. Зависимость предела прочности на сжатии цементного камня от количества вводимой добавки немодифицированного углеродного порошка от 0,25 до 2 %

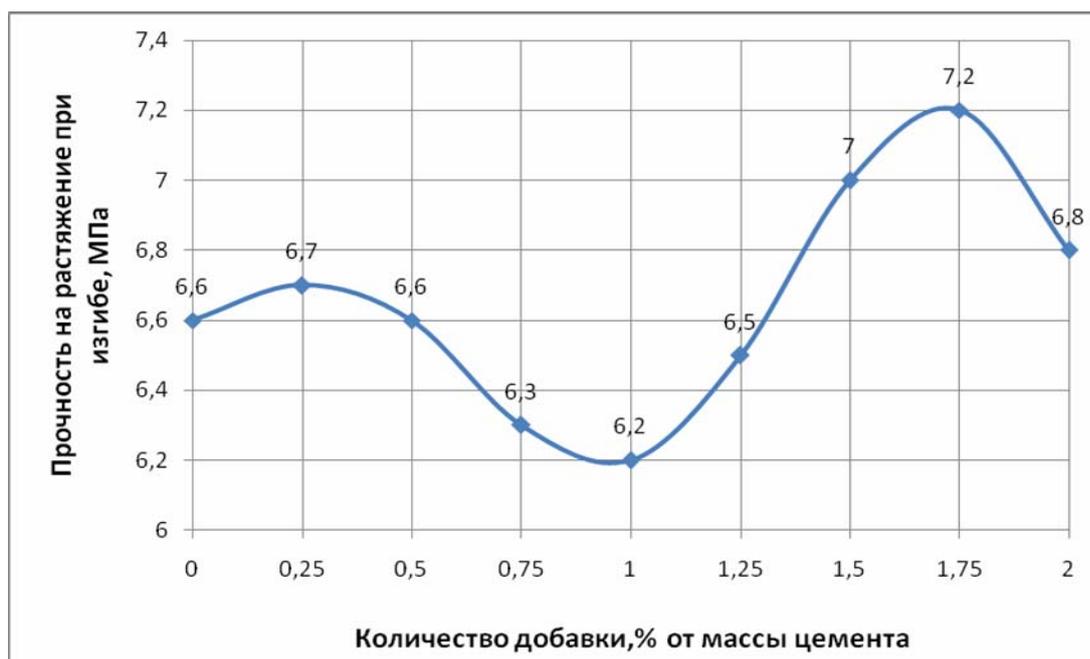


Рис.7. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе цементного камня от количества вводимой добавки немодифицированного углеродного порошка от 0,25 до 2 %

На втором этапе исследований проводилась сопоставительная оценка суперпластификатора С-3 и гиперпластификатора MasterGlenium51. Для этого изготавливались образцы с нормальной густотой пластичного раствора, с распылом конуса (по ГОСТ 310.4), равным 110 мм при водоцементном соотношении 0,40. В соответствии с этой величиной распыла конуса понижалось водоцементное соотношение. Полученные результаты испытаний приведены на рис.8-9.

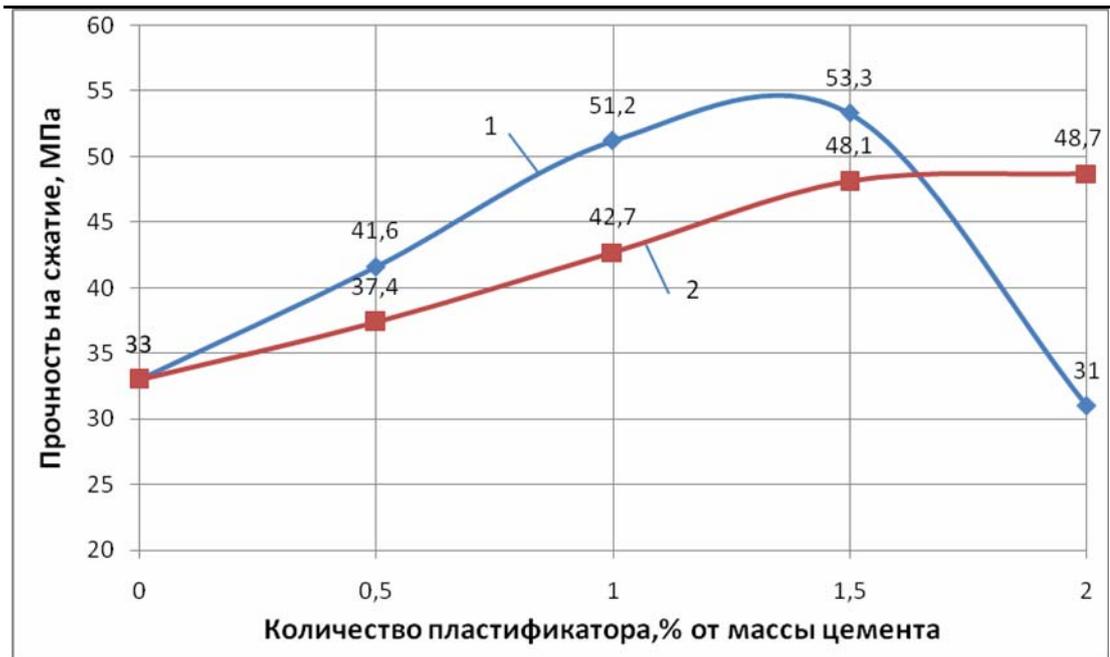


Рис.8. Зависимость изменения прочности цементного камня на сжатии от количества вводимой добавки:

1 – гиперпластификатор MasterGlenium 51; 2 – суперпластификатор С-3

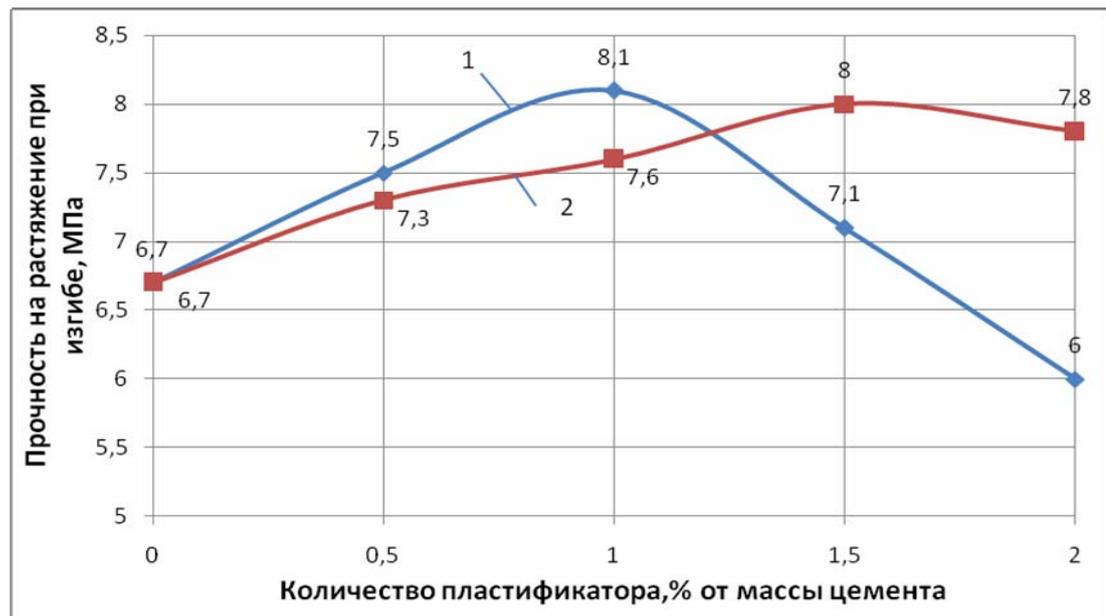


Рис.9. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от количества вводимой добавки:

1 – гиперпластификатор MasterGlenium 51; 2 – суперпластификатор С-3

Для установления влияния углеродной добавки и супер-, гиперпластификатора на свойства цементного камня применяли метод математического планирования эксперимента. В качестве матрицы планирования использовали план Коно, состоящий из 9 опытов. Варьируемыми факторами служили: X_1 – количество добавки, % от массы цемента; X_2 – количество супер-, гиперпластификатора, % от массы цемента. Матрица планирования, рабочая матрица и результаты испытаний приведены в табл.1,2.

Матрица планирования, рабочая матрица и результаты испытаний

№ опыта	Матрица планирования		Рабочая матрица		Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа
	X_1	X_2	Количество добавки, % от массы цемента	Количество гиперпластификатора MasterGlenium 51, % от массы цемента		
1	-1	-1	1	1	69,1	8,4
2	0	-1	1,5	1	60,8	6,8
3	1	-1	2	1	35,4	9,4
4	-1	0	1	1,5	51,6	8,0
5	0	0	1,5	1,5	67,5	7,0
6	1	0	2	1,5	65,8	7,5
7	-1	1	1	2	56,7	7,6
8	0	1	1,5	2	42,9	6,0
9	1	1	2	2	47,5	5,9

Т а б л и ц а 2

Матрица планирования, рабочая матрица и результаты испытаний

№ опыта	Матрица планирования		Рабочая матрица		Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа
	X_1	X_2	Количество добавки, % от массы цемента	Количество суперпластификатора С-3, % от массы цемента		
1	-1	-1	1	1	54,2	6,7
2	0	-1	1,5	1	49,9	6,3
3	1	-1	2	1	41,3	7,2
4	-1	0	1	1,5	51,6	6,1
5	0	0	1,5	1,5	52,7	6,8
6	1	0	2	1,5	49,7	6,0
7	-1	1	1	2	55,7	7,3
8	0	1	1,5	2	58,2	7,6
9	1	1	2	2	43,4	5,6

При проведении исследований по разработке технологии модифицирования цементного камня комплексной добавкой на основе супер-, гиперпластификатора и углеродного порошка в качестве параметра, влияющего на процесс, было принято количество вводимых компонентов. Водотвёрдое отношение было принято из условия равноподвижности цементного теста. В качестве оптимизируемого параметра технологии модифицирования рассматривали прочность наполненного цементного камня.

После проведения испытаний и статистической обработки результатов эксперимента получены уравнения регрессии, связывающие изменение показателя прочности испытанных образцов цементного камня от рассматриваемых факторов.

Графические зависимости изменения прочности модифицированных композитов от количества вводимых добавок, построенные по уравнениям регрессии, приведены на рис.10-13.

$$R = 63,444 - 4,783X_1 - 3,033X_2 - 2,717X_1^2 + 6,125X_1X_2 - 9,56X_2^2. \quad (1)$$

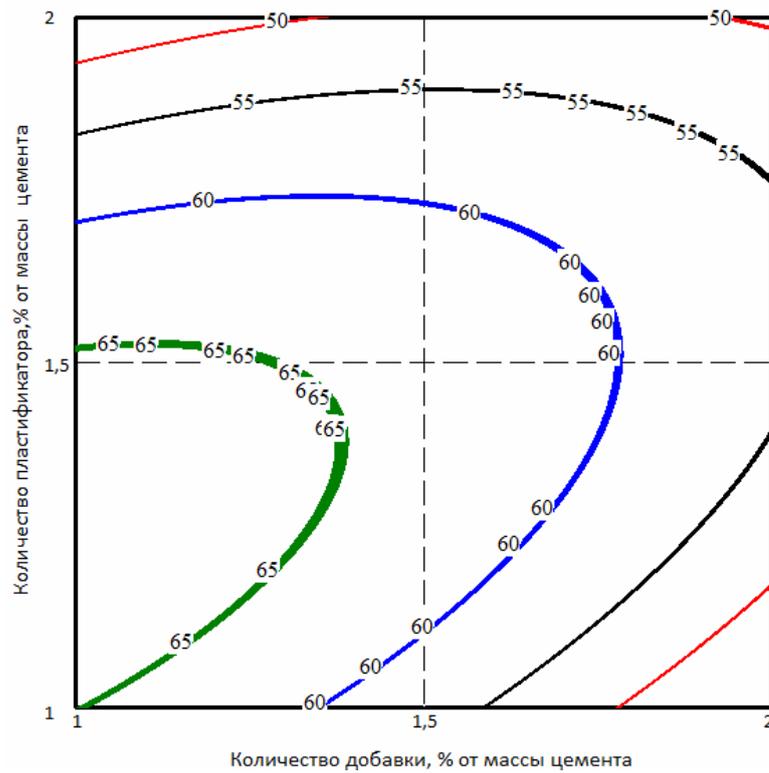


Рис.10. Зависимости изменения прочности на сжатии модифицированного цементного камня от количества углеродного порошка и гиперпластификатора MasterGlenium 51

$$R = 6,7 - 0,200X_1 - 0,850X_2 + 1,200X_1^2 - 0,675X_1X_2 - 0,150X_2^2. \quad (2)$$

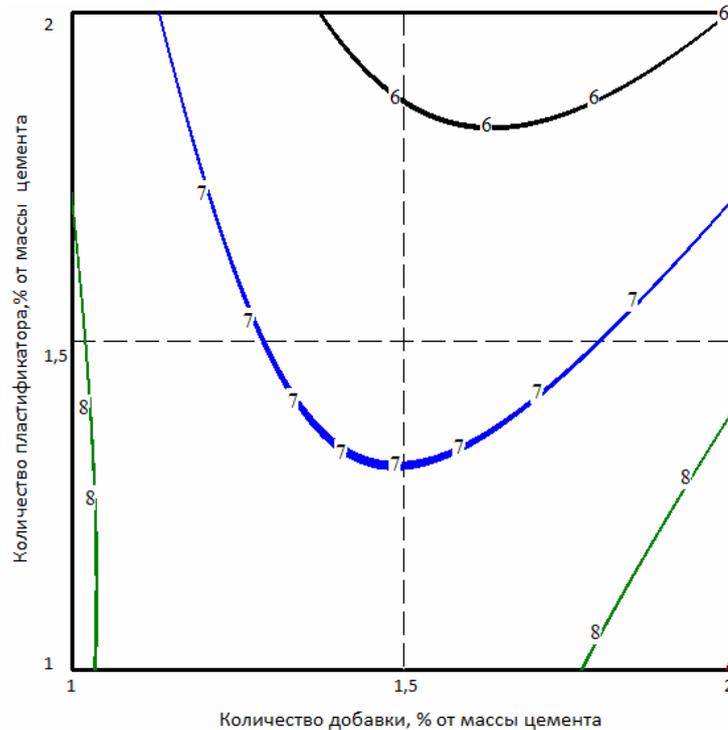


Рис. 11. Зависимости изменения прочности на растяжение при изгибе модифицированного цементного камня от количества углеродного порошка и гиперпластификатора MasterGlenium 51

$$R = 54,189 - 4,517X_1 + 1,983X_2 - 4,283X_1^2 + 0,150X_1X_2 - 0,88X_2^2. \quad (3)$$

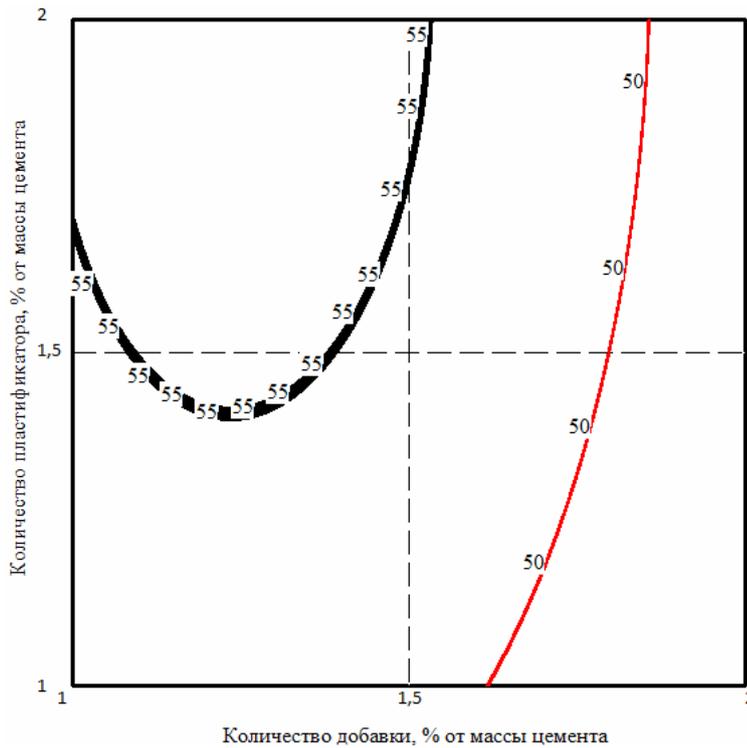


Рис. 12. Зависимости изменения прочности на сжатии модифицированного цементного камня от количества углеродного порошка и суперпластификатора С-3

$$R = 6,578 - 0,217X_1 + 0,050X_2 - 0,417X_1^2 - 0,550X_1X_2 + 0,483X_2^2. \quad (4)$$

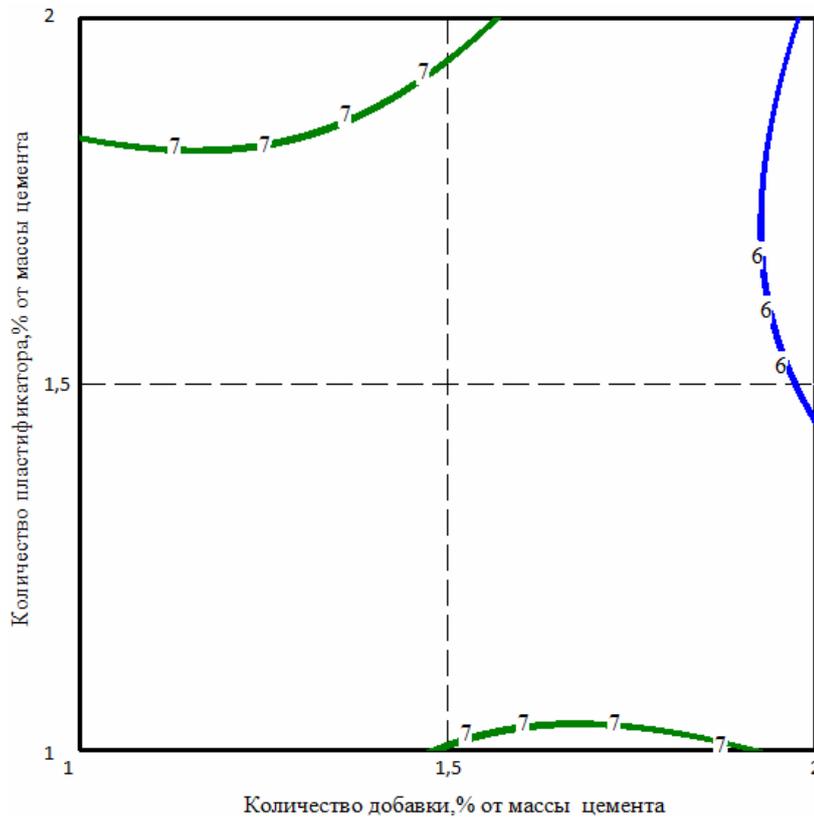


Рис. 13. Зависимости изменения прочности на растяжение при изгибе модифицированного цементного камня от количества углеродного порошка и суперпластификатора С-3

Исследования показали, что:

- совместное использование добавок углеродного порошка и гиперпластификатора «MasterGlenium51» позволяет увеличить прочность цементного камня при сжатии в возрасте 28 суток на 109 % по сравнению с контрольным составом (33 МПа);
- совместное использование добавок углеродного порошка и суперпластификатора «С-3» позволяет увеличить прочность цементного камня при сжатии в возрасте 28 суток на 76 % по сравнению с контрольным составом (33 МПа).

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2011. – 528 с.
2. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
3. Лукутцова, Н.П. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона: монография / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2013. – 231 с.

References

1. Bazhenov, Yu.M. Technology of Concrete / Yu.M. Bazhenov. – M.: ASV Publ., 2011. – 528 p.
2. Bazhenov, Yu.M. Modified High-quality Concretes / Yu.M. Bazhenov, V.S. Dem'yanova, V.I. Kalashnikov. – M.: ASV Publ., 2006. –368 p.
3. Lukutsova, N.P. Theoretical and technological aspects of obtaining micro- and nano-dispersed additives based on schungite breeds for concrete: monograph / N.P. Lukutsova, A.A. Pykin. – Bryansk: Izd BGITA, 2013. – 231 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

Снадин Евгений Валерьевич,
аспирант кафедры «Технологии
строительных материалов и
деревообработки»
E-mail: techbeton@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Snadin Evgeny Valerevich,
Postgraduate of the department «Technology
of building materials and wood processing»
E-mail: techbeton@pguas.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЯЧЕИСТОГО СЫРЦА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ

В.А. Береговой, Е.В. Снадин

Приведены результаты исследования влажностной усадки ячеистого сырца, применяемого в технологии газокерамических материалов. Разработана методика прогноза величины усадки от основных технологических факторов. Для вспененных сырьевых масс на основе природных опок получена расчетная зависимость линейной влажностной усадки.

Ключевые слова: керамический сырец, влажностная деформация, влияние состава, закономерности изменения свойств

FORECASTING DEFORMATIONS OF CELLULAR RAW BRICKS DURING DRYING PROCESS

V.A. Beregovoy, E.V. Snadin

The results of the study of shrinkage in relation to raw mixes for receiving cellular ceramics are given. The method to forecast the values of the shrinkage by the basic technological factors was developed. Dependence linear humid shrinkage of the foam raw materials based on natural gaizes is defined.

Keywords: ceramic raw, humid deformation, the influence of composition, regularities of changes in the properties

Исследования направлены на развитие технологических основ получения нового ячеистого обжигового материала – кремнистой газокерамики, вырабатываемой из опочного минерального сырья и обладающей улучшенными техническими показателями в сравнении с существующими видами пористых керамических изделий из глины [1, 2].

Сырцовые массы, применяемые в технологии газокерамики, являются сильно уважаемыми капиллярно-пористыми телами, процесс набора прочности которых сопровождается значительной усадкой. Интенсивное испарение влаги, происходящее со стороны открытой поверхности пористого сырца, формирует градиент влажности по его сечению и является причиной развития неравномерной усадки. Некомпенсированные усадочные деформации приводят к образованию микротрещин с последующим разрушением материала при обжиге.

В настоящее время отсутствует общая теория, описывающая механизм возникновения и развития усадочных деформаций в процессе твердения минеральных систем. Применительно к керамическим шихтам наиболее опасные изменения происходят на

завершающей стадии сушки, когда интенсифицируется испарение воды из гидросиликатов алюминия. Обладая слоистой структурой, они способны отдавать связанную влагу, что сопровождается сокращением межслоевых расстояний.

Результаты исследований показали значительное влияние характера пористой структуры на величину усадочных деформаций ячеистых материалов: при увеличении степени насыщения объёма материала макропорами наблюдается рост деформаций в процессе сушки изделий [3].

Применительно к газокерамике можно выделить следующие основные факторы, влияющие на усадку: вид и химико-минералогический состав материала-основы; дисперсный состав компонентов; наличие расширяющихся компонентов; вид и количество поверхностно-активных веществ; водотвердое отношение; параметры сушки.

Особенности состава сырьевых смесей определяют тесную взаимосвязь рецептурных факторов, и прежде всего водотвердого отношения, с величиной и характером усадочных деформаций керамического шликера (рис. 1).

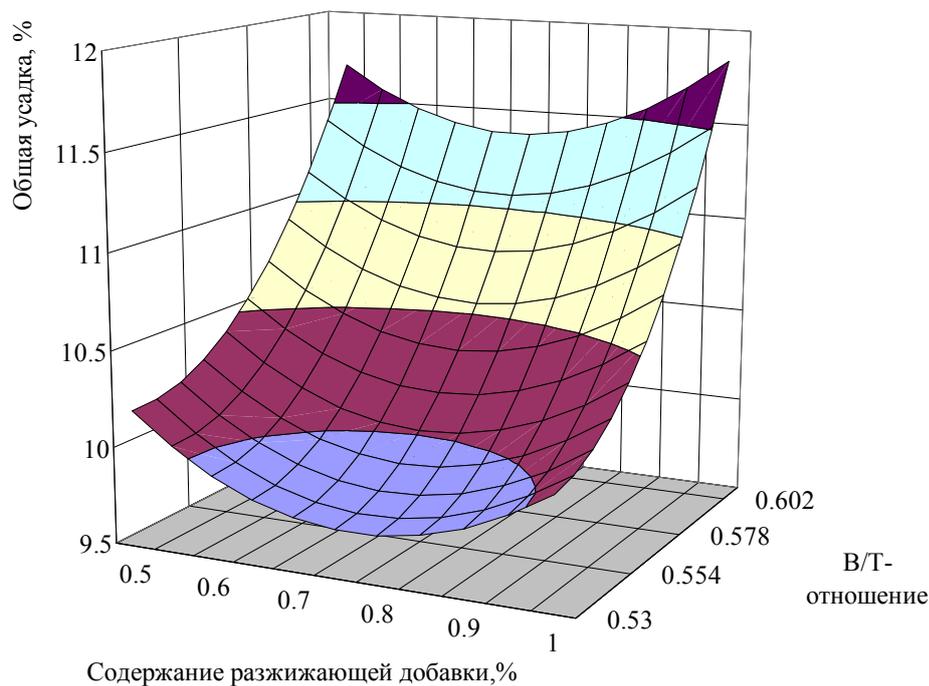


Рис.1. Влияние В/Т-отношения на усадку шликера

На соотношение между различными видами влаги в керамическом сырье влияют степень дисперсности частиц твердой фазы, а также химический состав вводимых газообразующих и корректирующих добавок.

Уменьшение влагосодержания в материале после его изготовления происходит в результате одновременно протекающих процессов переноса тепла и влаги. В стационарном режиме начального периода сушки происходят испарение влаги с открытой поверхности материала и её диффузия в окружающую среду. В этом случае количество испаряющейся воды N , кг/(м²·ч), можно рассчитать по закону Дальтона:

$$N = \beta \cdot (\rho_n - \rho_c), \quad (1)$$

где β – коэффициент влагоотдачи с поверхности, отнесенный к разнице парциальных давлений, кг/(м²·Па·ч); ρ_n и ρ_c – парциальные давления водяных паров над поверхностью влагообмена и в окружающей среде.

При отсутствии значительных градиентов температуры и давления внутри материала определяющим для характера распределения влаги является величина коэф-

коэффициента влагопроводности α . Значение коэффициента α можно найти по зависимости

$$m = -\alpha \cdot \gamma_0 \Delta \omega, \quad (2)$$

где m – количество переносимой влаги, кг/(м²·ч); $\Delta \omega$ – градиент влажности, 1/м; γ_0 – истинная плотность абсолютно сухого материала, кг/м³.

Распределение влаги по сечению материала подчиняется параболическому закону [4]:

$$\omega_n - \omega_x = \frac{\omega_n - \omega_x}{\left(\frac{x}{R}\right)^2}, \quad (3)$$

где ω_n, ω_x – влажность по сечению материала соответственно на поверхности, в центре и на расстоянии x от центра, %; R – половина толщины материала, м.

В качестве критерия трещинообразования материала при его сушке предлагается использовать критерий (K_i), характеризующий интенсивность внешнего влагообмена (χ) по сравнению с интенсивностью внутреннего [4, 5]:

$$K_i = \frac{\chi \cdot R}{\alpha \cdot \gamma_0 \cdot u_0}, \quad (4)$$

где u_0 – начальное влагосодержание, %.

Решение обобщенного уравнения переноса влаги во влажном материале сопряжено со значительными трудностями. При разработке алгоритма оценки влажностных деформаций газокерамического сырца исходили из представления о том, что наиболее опасная составляющая вызывается перераспределением влаги по структуре ячеистого материала вследствие ее перемещения и последующего испарения.

Расчет состоит из нескольких основных этапов.

Сначала рассчитывается массовый расход опоки:

$$O = \frac{1}{\frac{1}{\rho_o} + \frac{n}{\rho_n} + \left(\frac{B}{O}\right) \cdot \frac{1}{\rho_b}}, \quad (5)$$

где B/O – водоопочное отношение; n – соотношение между наполнителем (отошающей добавкой) и опокой; ρ_o и ρ_n – истинная плотность опоки и наполнителя; ρ_b – плотность воды.

Затем определяется объёмная усадка непоризованного сырца ($\xi_{ш}^o$) с учетом количества испарившейся влаги:

$$\xi_{ш}^o = \left(\frac{O}{\rho_o} + \frac{B}{\rho_b} - \frac{0,01 \cdot \varphi \cdot \rho_{г-к} \cdot V_M}{\rho_b} \right) \cdot k_o, \quad (6)$$

где $\rho_{г-к}$ – средняя плотность газокерамики, кг/м³, k_o – коэффициент объёмной усадки (для разработанных составов $k_o=0,46 \dots 0,52$); φ – равновесная влажность газокерамики, %; V_M – объём материала ($V_M=1\text{м}^3$).

Соотношение величин линейной и объёмной усадки для рассматриваемых шликерных систем составляет:

$$\xi_{ш}^n = \frac{1}{\chi} \xi_{ш}^o, \quad (7)$$

где χ – переводной коэффициент, равный 3,1...3,3.

Ячеистая структура сырцовой массы является причиной локальной концентрации внутренних напряжений, вызванных усадкой. Влияние пор на усадку определяется уменьшением площади сечения и искажением силовых полей. Особенность перерас-

пределения внутренних напряжений по ячеистой структуре сырка учитывается коэффициентом локализации напряжений:

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{\text{пор}}}{\sigma_0}, \quad (8)$$

где σ_0 и $\sigma_{\text{пор}}$ – внутренние напряжения в плотном и пористом сырке.

Расчет коэффициента α_k производится по зависимости [6]:

$$\alpha_k = 1 + \frac{1}{2 \cdot k_k^2} + \frac{3}{2 \cdot k_k^4}, \quad (9)$$

где k_k – поправочный коэффициент (для разрабатываемых составов $k_k=1,8\dots 2,1$).

Используя способ моделирования структуры ячеистого сырка, основанный на рассмотрении единичной кубической ячейки с расположенной в центре воздушной порой шарообразной формы, получили зависимость для расчета линейной усадки ячеистого шликера:

$$\xi_{\text{ш}}^{\text{яч}} = \xi_{\text{ш}}^{\text{л}} \cdot [(\alpha_k - 1) \cdot 1,24 \cdot 10^{-2} \cdot V_{\text{пор}}^{\frac{2}{3}} + 1], \quad (10)$$

где $V_{\text{пор}}$ – общая пористость сырцовой массы, %.

На рис. 2 приведена зависимость линейной усадки непоризованной сырьевой массы для изготовления кремнистой газокерамики.

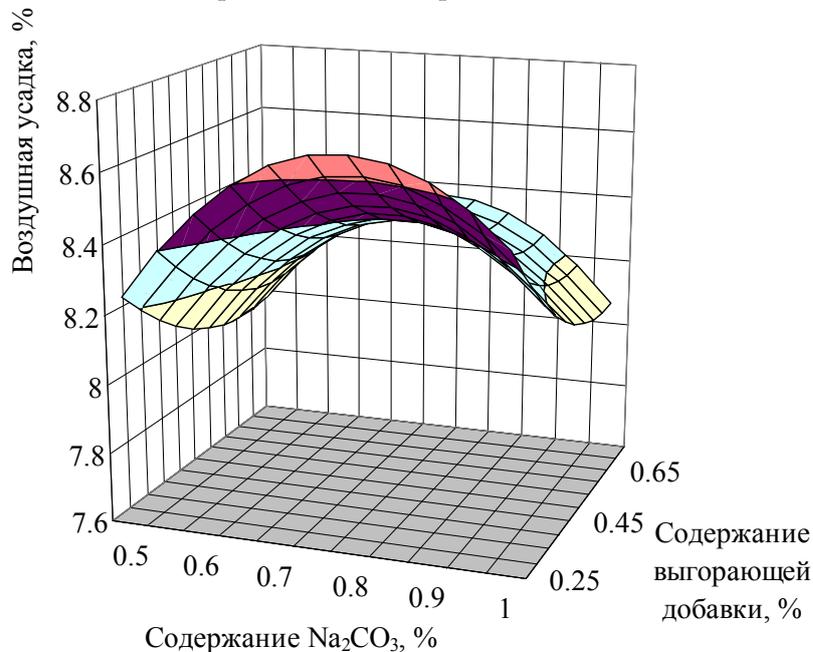


Рис. 2. Усадка опочного сырка

Выводы

В результате рассмотрения особенностей структуры ячеистого сырка получена зависимость для расчета величины влажностной усадки материала в процессе сушки. В качестве главных факторов влияния исследованы: соотношение между опоккой и отощающей добавкой, водотвёрдое (опочное) отношение шликера, его пористость, а также тепловлажностные параметры агента сушки.

Анализ расчетных и экспериментальных данных показал их хорошую сходимость. Это позволяет рекомендовать разработанную методику для прогнозирования влажностных деформаций сырцовых масс, применяемых в технологии кремнистой газокерамики.

Список литературы

1. Береговой, В.А. Стеклокристаллические материалы на основе кремнистых пород / В.А. Береговой, Д.С. Сорокин // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 54–57.
2. Береговой, В.А. Опочные породы в технологии пористой керамики для ограждающих конструкций зданий / В.А. Береговой [и др.] // Региональная архитектура. – 2012. – №3 – С.33–37.
3. Береговой, В.А. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны / В.А. Береговой, Е.В.Королев, Ю.М. Баженов. – М.: МГСУ, 2011. – 264 с.
4. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
5. Дудеров, Ю.Г. Расчеты по технологии керамики /Ю.Г. Дудеров, И.Г. Дудеров. – М.: Стройиздат, 1973. – 80 с.
6. Крылов, Н.А. Радиотехнические методы контроля качества железобетона / Н.А. Крылов, В.А. Калашников, А.М. Полищук. – Л.: Стройиздат, 1966. –374 с.

References

1. Beregovoy, V.A. Glass-crystal materials on the basISf flask rock/ V.A. Beregovoy, D.S. Sorokin //Regional architecture and engineering. – 2015. – № 1. – P. 54–57.
2. Beregovoy, V.A. Gaize in technology of porous ceramics for external building constructions/ V.A. Beregovoy [etc.] //Regional architecture and engineering. – 2012. – № 3. – P. 33–37.
3. Beregovoy, V.A Effective heat-insulating foam-ceramics concretes / V.A. Beregovoy, E.V.Korolev, Y. M. Bazhenov. – M.: MGSU, 2011. – 264 p.
4. Lykov, A.V. Theory of drying / A.V. Lykov. – M.: Energy, 1968. – 472 p.
5. Duderov, Y.G. Calculations for ceramics technology /Y.G. Duderov, I. G. Duderov. – M.: Stroyizdat, 1973. – 80 p.
6. Krylov, N.A. Radio engineering methods of quality control of reinforced concrete / N.A. Krylov, V.A. Kalashnikov, A.M. Polishchuk. – L.: Stroyizdat, 1966. –374 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 539.4

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77

Овчинников Илья Игоревич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Транспортное строительство»
E-mail: bridgeart@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Транспортное строительство»
E-mail: bridgesar@mail.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
Россия, 125319, МОСКВА, Ленинградский проспект, 64

Чэнь Тао,
аспирант кафедры «Мосты, тоннели и строительные конструкции»
E-mail: 313085767@qq.com

Saratov State Technical University named after Y. A. Gagarin

Russia, 410054, Saratov, Str. Polytechnic, 77

Ovchinnikov Ilya Igorevich,
Candidat of Sciences, Associate Professor of
the department «Transport Construction»
E-mail: bridgeart@mail.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Transport Construction»
E-mail: bridgesar@mail.ru

Moscow State Automobile & Road Technical University
Russia, 125319, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64

Chen Tao,
Postgraduate student of the department
«Bridges, tunnels and structural construction»
E-mail: 313085767@qq.com

ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СВАИ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ И ХЛОРИДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЫ

И.И. Овчинников, Т. Чэнь, И.Г. Овчинников

Построены модели деформирования и разрушения железобетонной сваи, учитывающие совместное действие нагрузки и хлоридсодержащей среды, рассмотрен вопрос их применения для прогнозирования поведения сваи.

Ключевые слова: железобетонная свая, хлоридная коррозия, вероятностные модели, долговечность, деформационная модель

PROBABILISTIC MODELING OF REINFORCED CONCRETE PIER UNDER THE COMBINED EFFECT OF THE LOAD AND THE CHLORIDE ENVIRONMENT

I.I. Ovchinnikov, T. Chen, I.G. Ovchinnikov

Models of deformation and destruction of reinforced concrete piles, taking into account the combined effect of the load and chloride-containing environments are constructed. Using of them to predict the behavior of the pile is considered.

Keywords: reinforced concrete pile, chloride corrosion, stochastic models, durability, deformation model

Железобетонные мостовые конструкции изначально имеют разброс геометрических размеров, прочностных и деформативных свойств, в процессе их монтажа имеет место нестабильность технологических приемов, в процессе эксплуатации они подвергаются действию нагрузок и внешних воздействий – температуры, влажности, агрессивных сред, которые носят случайный характер. В силу этого процесс деформирования мостовых железобетонных конструкций во времени можно считать случайным. Наиболее распространенной агрессивной средой для мостовых сооружений является хлоридсодержащая среда. Проблема детерминированного прогнозирования поведения железобетонных конструкций при совместном действии нагрузок и хлоридсодержащих сред рассматривалась в отечественных [1-5] и зарубежных [6,7] работах. Вероятностный подход к прогнозированию поведения железобетонных мостовых конструкций активно развивался в работах Франгопола Д.М. с сотрудниками и учениками [8-10]. Однако в этих работах рассматривался случайный характер только некоторых деструкционных процессов. В настоящей статье на примере железобетонной сваи рассматривается учет вероятностного характера возможно большего количества факторов, влияющих на процессы деструкции железобетонных конструкций: изменчивость механических характеристик материалов и размеров конструкций; вероятностный характер силовых и несиловых воздействий; влияние фактора времени на случайные свойства материалов и случайный характер воздействий внешней среды.

Обобщенная модель деформирования железобетонной конструкции может быть представлена в виде совокупности моделей: модели конструктивного элемента; модели материала (включая модель деформирования бетона и модель деформирования арматуры); модели воздействия агрессивной среды; модели нагружения; модели наступления предельного состояния конструкции. Моделью конструктивного элемента могут быть стержень, балка, плита. Случайными с учетом известных экспериментальных данных считаются размеры и площадь сечения конструктивного элемента, площадь арматуры, толщина защитного слоя.

В качестве модели деформирования бетона принимаются соотношения

$$\tilde{\sigma} = \begin{cases} \tilde{A}_p(\tilde{C}) \cdot \varepsilon - \tilde{B}_p(\tilde{C}) \cdot \varepsilon^3, \\ \tilde{A}_c(\tilde{C}) \cdot \varepsilon - \tilde{B}_c(\tilde{C}) \cdot \varepsilon^3, \end{cases} \quad (1)$$

где $\tilde{A}_p(\tilde{C}) = \tilde{A}_{p0} - \tilde{k}_{pa}(\tilde{C})$, $\tilde{B}_p(\tilde{C}) = \tilde{B}_{p0} - \tilde{k}_{pb}(\tilde{C})$, $\tilde{A}_c(\tilde{C}) = \tilde{A}_{c0} - \tilde{k}_{ca}(\tilde{C})$, $\tilde{B}_c(\tilde{C}) = \tilde{B}_{c0} - \tilde{k}_{cb}(\tilde{C})$.

Здесь \tilde{A}_{c0} , \tilde{B}_{c0} и \tilde{A}_{p0} , \tilde{B}_{p0} – коэффициенты диаграммы деформирования бетона в исходном состоянии; \tilde{k}_{ca} , \tilde{k}_{cb} и \tilde{k}_{pa} , \tilde{k}_{pb} – коэффициенты влияния концентрации хлоридов. То есть коэффициенты A_c , B_c , A_p , B_p и концентрация хлоридсодержащей среды C полагаются случайными величинами. Зависимость (1) учитывает также нелинейность деформирования и неодинаковую сопротивляемость бетона растяжению и сжатию.

Диаграмма деформирования арматуры с учетом ее случайных свойств принимается в виде:

$$\tilde{\sigma}_s = \begin{cases} \tilde{E}_s \cdot \varepsilon, & \sigma < \tilde{\sigma}_T, \\ \tilde{\sigma}_T, & \sigma \geq \tilde{\sigma}_T, \end{cases} \quad (2)$$

где E_s – модуль упругости стали; σ_T – предел текучести; σ_s – напряжения; ε – деформации.

Модель воздействия хлоридсодержащей среды включает модель проникания среды в конструктивный элемент, зависимость механических характеристик бетона от параметров среды в объеме конструкции и модель коррозии арматуры. Предполагается, что хлоридсодержащая среда проникает в конструктивный элемент размытым фронтом (рис.1) и в момент времени t_j профиль проникания хлоридов в бетон описывается случайной функцией $\tilde{C}(\tilde{X}_1, \dots, \tilde{X}_n; t_j)$. Коррозия арматуры начинается при достижении на ее поверхности критической концентрации $C_{кр}$.

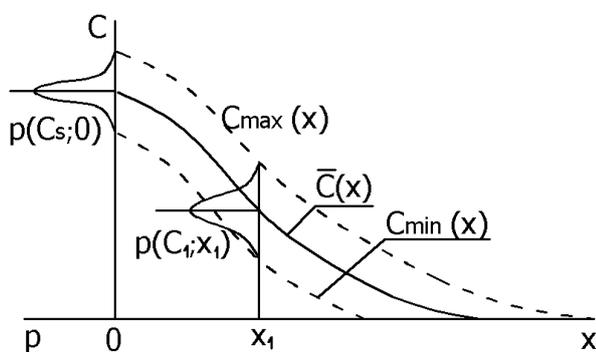


Рис.1. Профиль проникания хлоридов в бетон

Модель коррозионного износа арматуры принимается в виде (рис.2)

$$\begin{cases} \delta = 0, & t < t_{inc} \\ \delta = k \cdot (t - \tilde{t}_{inc})^n, & t \geq t_{inc} \end{cases} \quad (3)$$

где δ – глубина коррозионного поражения; k , n – коэффициенты, которые являются случайными величинами.

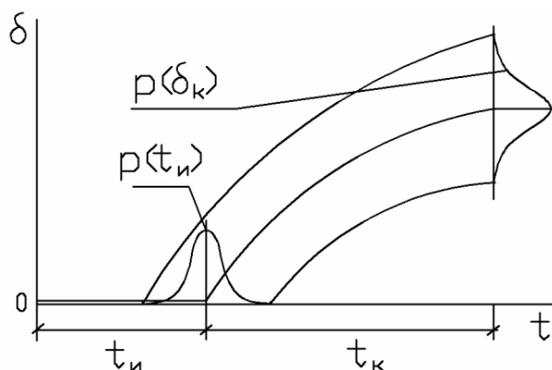


Рис.2. Кинетика коррозионного износа по модели (3)

Площадь поперечного сечения арматуры является функцией, зависящей от случайных параметров: $\tilde{F}_s(t) = \varphi(\tilde{d}_0; \tilde{k}; \tilde{n}; \tilde{t}_{inc}; t)$, где \tilde{d}_0 – начальный диаметр арматуры;

\tilde{k} – параметр скорости коррозионного износа стали; \tilde{t}_{inc} – инкубационный период, определяемый моделью проникания хлоридсодержащей среды в бетон.

В качестве модели наступления предельного состояния принимается условие достижения деформациями в бетоне или арматуре своих предельных значений. То есть в данной модели пока не рассматриваются процессы трещинообразования в бетоне.

С использованием экспериментальных данных были определены значения коэффициентов описанных моделей (см. таблицу), при этом ввиду отсутствия надежной информации принималось, что все они имеют нормальное распределение.

Характеристики расчетных случайных параметров

Параметр	Ед. изм.	Среднее значение	Коэффициент вариации	Закон распределения	Коэффициенты корреляции
A_{p0}	Па	$0,810 \cdot 10^{10}$	0,13	Н	$\rho(A_{p0}, B_{p0}) = 1$ $\rho(A_{p1}, B_{p1}) = 1$ $\rho(A_{p0}, A_{p1}) = 1$
B_{p0}	Па	$10,800 \cdot 10^{15}$	0,13	Н	
A_{p1}	Па	$0,561 \cdot 10^{10}$	0,13	Н	
B_{p1}	Па	$7,480 \cdot 10^{15}$	0,13	Н	
A_{c0}	Па	$4,181 \cdot 10^{10}$	0,11	Н	$\rho(A_{c0}, B_{c0}) = 1$ $\rho(A_{c1}, B_{c1}) = 1$ $\rho(A_{c0}, A_{c1}) = 1$
B_{c0}	Па	$3,484 \cdot 10^{15}$	0,11	Н	
A_{c1}	Па	$2,855 \cdot 10^{10}$	0,11	Н	
B_{c1}	Па	$2,379 \cdot 10^{15}$	0,11	Н	
D	м ² /год	$3,679 \cdot 10^{-5}$	0,07	Н	-
C_S	кг/м ³	10,09	0,07	Н	-
C_{krit}	кг/м ³	0,83	0,125	Н	-
E	Па	$214000 \cdot 10^6$	0,07	Н	$r(\sigma_T, E) = 1$
σ_T	Па	$450,0 \cdot 10^6$	0,07	Н	
a_3	м	0,03	0,10	Н	-
k_s	м/год	0,0003	0,15	Н	-
h	м	0,35	0,015	Н	-
b	м	0,35	0,015	Н	-
d_0	мм	16	0,03	Н	-

Предельные деформации растяжения и сжатия $\varepsilon_{np,p}^b$, $\varepsilon_{np,c}^b$ имеют значения $0,5 \cdot 10^{-3}$ и $2 \cdot 10^{-3}$ соответственно. С использованием приведенных выше соотношений был выполнен расчет железобетонной мостовой сваи при совместном действии нагрузки и хлоридсодержащей среды (рис.3-4).

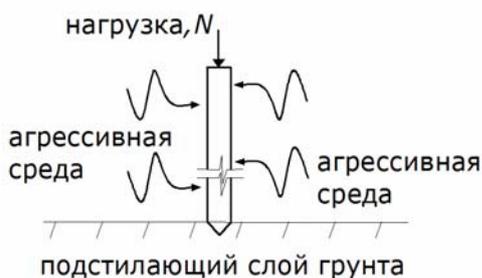


Рис. 3. Расчетная схема железобетонной сваи

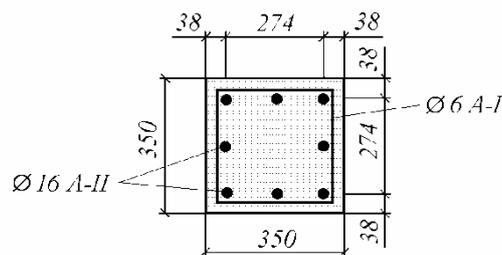


Рис. 4. Поперечное сечение железобетонной сваи

Уравнение равновесия сваи имеет вид

$$N = \int_{F_b} A(C) \cdot \varepsilon - B(C) \cdot \varepsilon^3 dF_b + \int_{F_s} E \cdot \varepsilon dF_s, \quad (4)$$

где N – нагрузка на сваю, остальные параметры определены ранее.

Алгоритм расчета сваи построен с применением метода статистического моделирования и позволяет учесть влияние разброса входных случайных параметров и получить статистические характеристики выходных расчетных параметров. В основе алгоритма – схема детерминированного расчета железобетонной сваи. В результате расчета получены данные о концентрационном поле хлоридов в различные моменты времени, поле напряжений, кинетика изменения деформаций во времени.

Долговечность сваи определялась с учетом случайных свойств нагрузки, параметров бетона и арматуры, геометрических размеров и характеристик агрессивной среды по отдельности, а также с учетом всех случайных параметров одновременно. Для иллюстрации на рис. 5 показана гистограмма долговечности сваи.

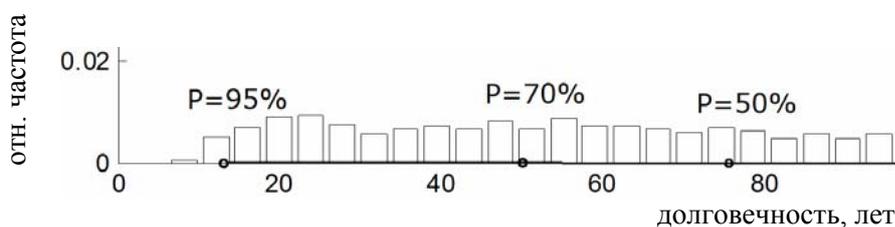


Рис. 5. Гистограмма долговечности сваи с учетом всех случайных входных параметров

Как видно, долговечность сваи с обеспеченностью 95 % составила 17 лет, с обеспеченностью 70 % – 50 лет, с 50 % – 78 лет. На рис. 6 приведена зависимость долговечности сваи от величины приложенной нагрузки. Задавая значение нагрузки, по корреляционной зависимости можно определить срок службы сваи.

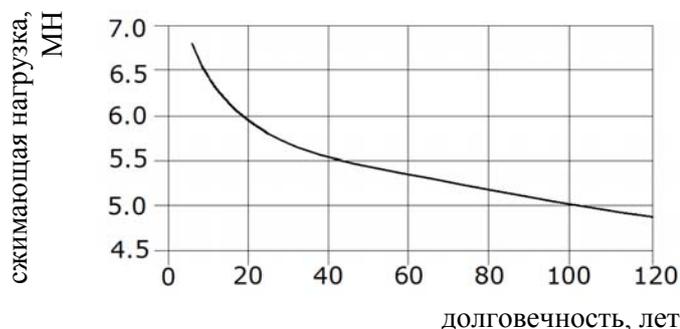


Рис. 6. Корреляционная связь нагрузки \tilde{N} и долговечности сваи

Заключение. Анализ данных о повреждениях железобетонных мостов свидетельствует о том, что часто причинами повреждения являются неравномерность толщины защитного слоя и воздействие хлоридсодержащей среды. Дегградация механических свойств бетона во времени неоднородна по объему железобетонных конструкций, а процессы проникания хлоридов, дегградации бетона, коррозии арматуры имеют вероятностный характер, причем влияние хлоридсодержащей среды увеличивает разброс механических характеристик бетона. Приведенная в статье обобщенная модель деформирования железобетонной конструкции с учетом вероятностного характера параметров модели применена к расчету железобетонной сваи прямоугольного сечения. С помощью метода статистического моделирования произведена оценка вероятностной долговечности железобетонной сваи с учетом вероятностного характера различных параметров сваи и агрессивной среды. К сожалению, вероятностный расчет железобетонных конструкций во многих случаях затруднителен, что объясняется не

столько сложностью выполнения статистического моделирования с использованием вероятностных моделей деформирования, сколько отсутствием достаточного количества экспериментальных данных для идентификации моделей. Поэтому возникает весьма важная задача проведения лабораторных и натурных экспериментальных исследований с целью накопления необходимого набора экспериментальных данных.

Список литературы

1. Овчинников, И.Г. Модель деформирования стойки из железобетона, работающей в хлоридсодержащей среде / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, Н.С. Дядькин // Известия вузов. Строительство. – 2000. – №6. – С.4–10.
2. Овчинников, И.Г. Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридосодержащих сред / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, А.А. Землянский. – Саратов: СГТУ, 2000. – 176 с.
3. Овчинников, И.Г. Расчетная оценка влияния хлоридсодержащей среды на напряженно-деформированное состояние сжимаемых элементов мостовых конструкций / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, В.И. Кононович // Транспортное строительство. – 2001. – №6. – С. 21–24.
4. Овчинников, И.Г. Работоспособность сталежелезобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, Р.Б. Гарибов. – Саратов: Изд-во СГУ, 2002. – 201 с.
5. Овчинников, И.Г. Влияние хлоридсодержащих сред на прочность и долговечность пластин на упругом основании / И.Г. Овчинников, А.В. Кривцов, Ю.П. Скачков. – Пенза: ПГАСА, 2002. – 127 с.
6. Thoft-Christensen, P. Deterioration of concrete structures. In: Proceedings of first international conference on bridge maintenance, safety and management / P. Thoft-Christensen. – Barselona, 2002. – 7 p.
7. Biondini, F. Damage modeling and nonlinear analysis of concrete bridges under corrosion / F. Biondini, M. Vergani // Biondini&Frangopol, editors. Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability. – London: Taylor & Francis Group, 2012. – P.209-210.
8. Frangopol D.M., Akiyama M., H. Matsuzaki H. Life-Cycle Reliability of RC Bridge Piers under Seismic and Airborne Chloride Hazards. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, John Wiley & Sons, Ltd, 2011. –Vol 40. – No. 15. – P.1671-1687.
9. Frangopol D.M., Akiyama M., Suzuki M. Integration of the Effects of Airborne Chlorides into Reliability-Based Durability Design of R/C Structures in a Marine Environment. Structure and Infrastructure Engineering, Taylor & Francis, 2012. – Vol. 8. – No. 2. – P. 125-134.
10. Frangopol, D.M. Reliability-Based Durability Design and Service Life Assessment of Concrete Structures in an Aggressive Environment. In: Maintenance and Safety of Aging Infrastructure / D.M. Frangopol, M. Akiyama, H. Matsuzaki; Edited by D.M. Frangopol and Y. Tsompanakis). – London: CRC Press / Balkema, Taylor &Francis Group, 2014. – P. 1–26.

References

1. Ovchinnikov, I.G. Model of deformation of the uprights of reinforced concrete, working in floridageorgia environment / I.G. Ovchinnikov, V.V. Ratkin, N.C. Dyadkin // Izvestiya vuzov. Construction. – 2000. – No. 6. – P. 4–10.
2. Ovchinnikov, I.G. Modeling of the behavior of concrete structural elements in terms of exposure chloridoideae environments / I.G. Ovchinnikov, V.V. Rotkin, A.A. Zemlyansky. – Saratov: SSTU, 2000. – 176 p.
3. Ovchinnikov, I.G. Estimation of influence floridageorgia environment on the stress-strain state of the compressed elements of bridge structures / I.G. Ovchinnikov, V.V. Ratkin, V.I. Kononovich // Transport construction. – 2001. – No. 6. – P. 21–24.

4. Ovchinnikov, I.G. Performance of steel-concrete composite structural elements under the impact floridageorgia environments / I. G. Ovchinnikov, V.V. Rotkin, R.B. Garibov. – Saratov: Publishing house SGU, 2002. – 201 p.
5. Ovchinnikov, I.G. Influence of floridageorgia media on the strength and durability of plates on elastic foundation / I.G. Ovchinnikov, A V. Krivtsov, J.P. Jumps. – Penza: SCIENTIFIC, 2002. – 127 p
6. Thoft-Christensen, P. Deterioration of concrete structures. In: Proceedings of first international conference on bridge maintenance, safety and management / P. Thoft-Christensen. – Barselona, 2002. – 7 p.
7. Biondini, F. Damage modeling and nonlinear analysis of concrete bridges under corrosion / F. Biondini, M. Vergani // Biondini&Frangopol, editors. Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability. – London: Taylor & Francis Group, 2012. – P.209-210.
8. Frangopol D.M., Akiyama M., H. Matsuzaki H. Life-Cycle Reliability of RC Bridge Piers under Seismic and Airborne Chloride Hazards. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, John Wiley & Sons, Ltd, 2011. –Vol 40. – No. 15. – P.1671-1687.
9. Frangopol D.M., Akiyama M., Suzuki M. Integration of the Effects of Airborne Chlorides into Reliability-Based Durability Design of R/C Structures in a Marine Environment. Structure and Infrastructure Engineering, Taylor & Francis, 2012. – Vol. 8. – No. 2. – P. 125-134.
10. Frangopol, D.M. Reliability-Based Durability Design and Service Life Assessment of Concrete Structures in an Aggressive Environment. In: Maintenance and Safety of Aging Infrastructure / D.M. Frangopol, M. Akiyama, H. Matsuzaki; Edited by D.M. Frangopol and Y. Tsompanakis). – London: CRC Press / Balkema, Taylor &Francis Group, 2014. – P. 1–26.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Городское
строительство и архитектура»
E-mail: ambereg@rambler.ru

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

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор,
декан факультета «Управление
территориями»
E-mail zigk@pguas.ru

Тамбовский государственный технический университет

Россия, 392000, г.Тамбов, ул.Советская,
д.106

Монастырев Павел Владиславович,
доктор технических наук, профессор,
декан Инженерно-строительного института
E-mail monasteryev@rambler.ru

Penza State University of Architecture and Construction

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

Beregovoy Aleksandr Markovich,
Doctor of Sciences,
Professor of the department «Urban
construction and Architecture»
E-mail: ambereg@rambler.ru

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

Taracanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Dean of the faculty «Management of the
territories»
E-mail zigk@pguas.ru

Tambov State Technical university

Russia, 392000, Tambov, 106, Sovetskaya St.

Monastyrev Pavel Vladislavovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Dean of the Institute of Civil Engineering
E-mail monasteryev@rambler.ru

АСПЕКТЫ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ ЗДАНИЙ СТАРОЙ ЗАСТРОЙКИ

А.М. Береговой, В.А. Береговой, П.В.Монастырев, О.В. Тараканов

Дается анализ результатов натурных обследований тепловой защиты малоэтажных жилых зданий, обосновывается целесообразность использования некоторых вариантов термомодернизации. На основе моделирования определяются способы снижения тепловых потерь и предлагается критерий эффективности энергосберегающих решений.

Ключевые слова: термомодернизация, старая застройка, натурные обследования зданий, моделирование, критерий энергетической эффективности

ASPECTS OF THERMAL PROTECTION OF OLD BUILDINGS

A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, P.V. Monastyrev, O.V. Taracanov

Results of field surveys of thermal protection of low rise residential buildings are given. The feasibility of the use of some of the options for their thermal protection is proved. For this kind of buildings with the use of estimated simulation methods to reduce heat losses are considered. A criterion of energy efficiency is proposed.

Keywords: thermal protection, old buildings, field studies of buildings, modeling, criterion of energy efficiency

За последние два десятилетия сильное падение темпов роста объемов строительства весьма негативно отразилось на динамике старения жилого фонда. В настоящее время общая площадь ветхих и аварийных домов составляет около 100 млн м², тогда как площадь всего массива эксплуатируемых жилых зданий превышает 2,6 млрд м².

Снос ветхого фонда и строительство новых зданий могут обойтись в очень крупную сумму, составляющую примерно 3 трилл. руб., даже если принять в расчет, что минимальная стоимость 1 м² возводимых домов равна 30 тыс. руб. Поэтому исследования по долговременному сохранению функциональных свойств зданий представляются актуальными и обоснованными в технико-экономическом отношении, тем более, что такие мощные финансовые вливания в программу строительства жилья в близкой перспективе маловероятны.

Для оценки физического износа зданий старой застройки провели натурные обследования малоэтажных жилых домов, построенных в г. Пензе в 50-х годах прошлого столетия (первый индустриальный период строительства). Основное внимание уделяли состоянию тепловой защиты наружных ограждающих конструкций и микроклимату помещений. В результате визуального обследования и инструментальных измерений было установлено:

- тепловая защита верхних (чердачных) и нижних (цокольных) перекрытий преобладающей части зданий находится на крайне низком уровне;
- тепловой режим помещений в квартирах верхнего и нижнего этажей характеризуется температурами внутреннего воздуха на 2–3°С ниже нормативных значений.

Натурные обследования показали, что некоторые здания первого индустриального периода постройки, имеющие вполне удовлетворительное физико-механическое состояние конструкций, из-за значительной потери теплотехнических свойств наружных ограждений уже приближаются к стадии эксплуатации, характеризуемой как «ветхое жилье». В результате анализа проведенной работы установлены причины снижения энергоэффективности, рекомендованы способы термомодернизации зданий и определен приблизительный эффект энергосбережения (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Влияние способов термомодернизации зданий на эффективность энергосбережения

Причины снижения энергоэффективности	Возможные способы термомодернизации	Эффективность энергосбережения
Чрезмерная увлажненность материала наружных стен и слоя утеплителя Изношенность и самоуплотнение структуры сыпучего утеплителя в чердачных перекрытиях и некоторых конструкциях стен	Установка вентилируемого сайдинга Энергетическая сушка наружных ограждений Перелопачивание или замена утеплителя на чердачном перекрытии. Дополнительное утепление чердачного перекрытия плитой из жесткой минваты толщ. 50 или 100 мм. Укладка дополнительного слоя с большим сопротивлением воздухопроницанию	Уменьшение теплопотерь: через конструкцию наружной стены на 5 – 10 % через перекрытие в 1,5 – 3 раза
Малая степень использования альтернатив – новых источников энергии в виде тепла земли и солнечной радиации	Утилизация тепла земляного массива и подвальных помещений. Использование на окнах теплозащитных штор. Применение энергоактивных устройств на наружной оболочке здания	Повышение энергосбережения до 60 %

Выбор рациональных способов термомодернизации возможен только на основе тщательно продуманного и научно обоснованного подхода к оценке состояния той группы зданий старой застройки, которая приближается к фазе ускоренного физического старения, быстрой потери основных теплотехнических и физико-механических свойств. При этом отодвигается на определенный период капитальный ремонт, который требует значительных материально-технических затрат.

Целесообразность такого подхода подтверждает расчет эффективности восстановления тепловой защиты двух типов жилых домов: 2-этажного дома на 18 кв. с общей площадью 1000 м² и 5-этажного на 60 кв. с площадью 3500 м² при следующих

исходных данных: стоимость 1 м² общей площади на вторичном рынке жилья составляет 30 тыс. руб., стоимость термомодернизации 2-этажного дома – 0,5 млн руб., а 5-этажного дома – 2,0 млн руб.

В результате расчета установлено:

- приблизительная стоимость (в млн руб.) восстановленной площади проживания в результате термомодернизации может составить: для первого дома – 30 млн руб., а для второго – 105 млн руб.;

- приблизительная эффективность восстановления домов (в млн руб.) с нормируемой долговечностью от 100 лет при продлении сроков их службы после термомодернизации на 5 и 10 лет оценивается соответственно в 1 и 2,5 млн руб. для первого дома и в 3,25 и 8,5 для второго дома.

С целью оценки тепловых потерь q_u через конструкцию чердачного перекрытия с засыпным утеплителем обследованных зданий была составлена расчетная модель с использованием формулы, характеризующей процесс эксфильтрации воздуха [1]:

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

где c_b и ω – соответственно удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С), и количество уходящего воздуха, кг/(м²·ч); R и R_0 – соответственно сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия на границе у его внутренней поверхности и общее сопротивление теплопередаче перекрытия, м²·°С/Вт; t_b и t_n – температура воздуха помещения и чердачного пространства, °С.

Искомый параметр q_u определили как для обследованной конструкции перекрытия, так и для некоторых других, применяемых в практике строительства малоэтажных зданий. В табл. 2 дано сравнение расчетных и нормативных значений этого параметра.

Т а б л и ц а 2

Расчетные и нормативные тепловые потери при эксфильтрации теплого воздуха через конструкции чердачных перекрытий

№ схем	Состав перекрытия	q_u , Вт/м ²	$q_{норм}$, Вт/м ²
1	Обследованная конструкция из балочного перекрытия и дощатого заполнения, утепленная шлаковой засыпкой	68	20
2	Та же конструкция с верхним слоем из цементно-песчаной стяжки	16	19
3	Конструкция по схеме 1 с дополнительным утеплением из минераловатной плиты толщиной 5 см	14	9
4	Конструкция, состоящая из монолитной железобетонной плиты, пароизоляции в виде слоя наплавленного рубероида, пенополистирольной плиты и армированной цементно-песчаной стяжки	–	12,34

П р и м е ч а н и е. Значения $q_{норм}$ определялись по формуле, не учитывающей эксфильтрационную составляющую тепловых потерь.

Данные табл. 2 и рис. 1 показывают, что тепловые потери через обследованную конструкцию чердачного перекрытия (схема 1) в несколько раз превышают нормативную величину, а при величине сопротивления воздухопроницанию конструкции менее 2 м²·ч·Па/кг значительно возрастают. Устройство цементно-песчаной стяжки по засыпному утеплителю (схема 2) позволяет обеспечить уровень тепловых потерь ниже нормативного значения, тогда как укладка дополнительного слоя теплоизоляции из минераловатной плиты с целью увеличения сопротивления теплопередаче конструкции по схеме 1 не дает возможности существенно снизить тепловые потери при эксфильтрации воздуха (схема 3). Применение современной конструкции перекрытия из железобетонной плиты (или наличие в конструкции воздухопроницаемого слоя)

практически полностью исключает потери тепла при эксфильтрации теплого воздуха (схема 4).

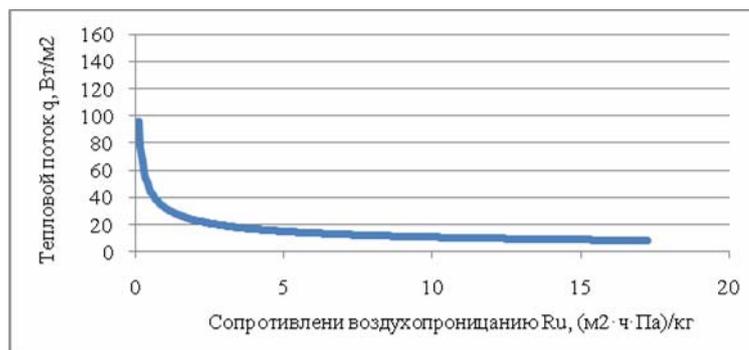


Рис.1. Тепловые потери через конструкцию чердачного перекрытия по схеме 1

Известно, что использование альтернативных источников энергии в виде тепла земляного массива или тепла солнечной радиации более эффективно в малоэтажных зданиях. Расчетная модель и результаты натурного эксперимента по утилизации тепла воздушного пространства подземного помещения такого здания с помощью воздуховода рассмотрены в работе [2].

Расчетные значения температуры t_x , °C, подогреваемого воздуха в сечении x воздуховода определяли по формуле Богословского В.Н., использованной им для расчета среднесуточной температуры воздушных прослоек ограждающих конструкций:

$$t_x = t_c - (t_c - t_n) \cdot e^{-Ax}. \quad (2)$$

На рис. 2 показаны значения температур воздуха в сечении воздуховода по данным расчетной модели и инструментальных измерений в натуральных условиях. Полученные значения t_x на выходе воздуха из воздуховода дали возможность рассчитать эффект энергосбережения при утилизации тепловых потоков, поступающих в подвальное помещение со стороны земляного массива и через цокольное перекрытие.



Рис.2. Распределение температуры t_x по длине воздушной прослойки воздуховода

В работе [3] рассматривается технико-экономическая целесообразность внедрения ряда энергосберегающих решений: солнечного коллектора, теплозащитных штор, теплоступлений от использования солнечного коллектора, переноса ряда подсобных помещений в подземный этаж и применения принципа блокирования зданий.

Эффективность использования этих решений, а также альтернативных источников энергии при определении тепловых потерь зданий рассматриваемого типа можно оценить с помощью следующего критерия энергосбережения $K_{эф}^{аэн}$:

$$K_{эф}^{аэн} = q_{от}^p / q_{от}^{p,аэн},$$

где $q_{от}^p$ – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания [4],

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot \nu \zeta] \cdot (1 - \xi) \cdot \beta \cdot h;$$

$q_{от}^{р.аэн}$ – та же величина, но с учетом использования альтернативных источников энергии и энергосберегающих решений,

$$q_{от}^{р.аэн} = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) + k_{ск} + k_{шт} + k_{пп} + k_{уп} + k_{бл}] \cdot v_{\zeta} \cdot (1 - \xi) \cdot \beta \cdot h ;$$

здесь $k_{ск}$, $k_{шт}$, $k_{пп}$, $k_{бл}$ – удельные характеристики теплопоступлений от использования солнечного коллектора, теплозащитных штор, а также сэкономленного тепла от переноса ряда подсобных помещений в подземную часть здания, утилизации тепла ее воздушного пространства и применения принципа блокирования зданий.

Расчеты показывают, что для отдельно стоящего малоэтажного жилого здания величина $K_{эф}^{аэн}$ при использовании рассмотренных энергосберегающих решений может находиться в пределах 1,05 – 1,4.

Выводы.

1. Показана технико-экономическая эффективность восстановления тепловой защиты жилых домов старой застройки, приближающихся к фазе ускоренного физического старения.

2. Результаты моделирования, натуральных и экспериментальных исследований показали целесообразность укладки воздухо непроницаемого слоя при реконструкции чердачных перекрытий с засыпным утеплителем и использования тепла подвальных помещений для дополнительного обогрева здания.

3. Предложен критерий, оценивающий эффективность использования в малоэтажных зданиях энергосберегающих решений при определении тепловых потерь.

Список литературы

1. Оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через пористую структуру материала ограждения / А.М. Береговой, М.А. Дерина, В.А. Береговой, А.В. Мальцев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С. 79–83.

2. Береговой, А.М. Использование тепла подземных помещений в энергосбережении / А.М. Береговой, М.А. Дерина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №1. – С. 85–89.

3. Береговой, А.М. Техничко-экономическая эффективность энергосберегающих решений в архитектурно-строительном проектировании / А.М. Береговой, М.А. Дерина, Л.Н.Петрянина // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №2. – С. 144–148.

4. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003. – М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 95 с.

References

1. Evaluation of heat losses during exfiltration of air through the porous structure of the material of the enclosure structure /A.M. Beregovoy, M.A. Derina, B.A. Beregovoy, A.V. Maltsev // Regional architecture and engineering. – 2014. – No.2. – P. 79–83.

2. Beregovoy, A.M. Using of underground rooms heat in energy saving / A.M. Beregovoy, M.A. Derina, B.A. Beregovoy // Regional architecture and engineering. – 2016. – No.1. – P. 85–89.

3. Beregovoy, A.M. Techno-economic efficiency of energy savings solutions in architecture and construction design /A.M. Beregovoy, M.A. Derina, L.N. Petryanina // Regional architecture and engineering. – 2015. – No.2. – P. 144–148.

4. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Actualized edition of SNiP 23-02-2003. – M.: NIISF RAASN, 2012. – 95 p.

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

Абрашитов Валентин Султанович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

Жуков Александр Николаевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: zhukov.penza@yandex.ru

Устинова Анастасия Викторовна,
студент
E-mail: anastasiaustinova96@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Abdrashitov Valentin Sultanovich,
Candidate of Sciences, Professor
of the department «Building constructions»

Zhukov Alexander Nikolaevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building constructions»
E-mail: zhukov.penza@yandex.ru

Ustinova Anastasia Viktorovna,
student
E-mail: anastasiaustinova96@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В. С. Абрашитов, А. Н. Жуков, А. В. Устинова

Предлагаются методы идентификации категорий технических состояний строительных конструкций зданий и сооружений по различным нормативным документам.

Ключевые слова: строительные конструкции, техническое состояние, идентификация, обследование

DEFINITION OF TECHNICAL STATE CATEGORIES OF BUILDINGS AND STRUCTURES

V.S. Abrashitov, A.N. Zhukov, A.V. Ustinova

Methods of identifying the categories of technical condition of constructions and structures for different regulations are given.

Keywords: building construction, technical condition, identification, examination

Эксплуатация строительных конструкций зданий и сооружений должна основываться на периодических оценках состояния конструкций по результатам их обследования и освидетельствования. При этом производят оценку технического состояния строительных объектов в следующих случаях:

- по истечении расчетного срока службы объекта;
- при реконструкции объекта;
- при проверке возможности существующей конструкции выдерживать нагрузки при эксплуатационных изменениях в использовании объекта;
- в случае ремонта конструкций, подвергающихся физическому и моральному износу при длительной эксплуатации;
- при проверке эксплуатационной пригодности конструкций после аварийных воздействий (например потолка, взрывных воздействий, землетрясений, ударов и т.п.) [1].

При обследовании несущих конструктивных элементов зданий и сооружений ставится цель определить реальное техническое состояние конструкций для оценки возможности их дальнейшей эксплуатации, уточнить действительную работу конструкций при действующих эксплуатационных нагрузках.

Оценка категорий технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений в настоящее время ведется с использованием достаточно большого списка

нормативных документов, рекомендаций и пособий. Следует отметить, что категории технического состояния по-разному сформулированы в этих источниках. Отсутствие единого подхода в определении ресурса является существенным недостатком; поэтому необходима разработка единых требований к формулированию категорий технического состояния строительных конструкций.

При обследовании состояния конструкций зданий и сооружений традиционно используют следующие методические рекомендации:

- 1) СП 13-102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [2].
- 2) СП 53-102–2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций» [3].
- 3) ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [4].

В приведенных выше нормативных документах присутствуют разные подходы к определению категорий технического состояния зданий и сооружений. По СП 13-102–2003 устанавливается шесть категорий технического состояния. Это:

- нормативный уровень технического состояния;
- исправное состояние;
- работоспособное состояние;
- ограниченно работоспособное состояние;
- недопустимое состояние;
- аварийное состояние.

По СП 53-102–2004 устанавливаются четыре технических состояния:

- исправное;
- работоспособное;
- ограниченно работоспособное;
- аварийное.

По ГОСТ 31937–2011 устанавливаются четыре категории технического состояния:

- нормативное техническое состояние;
- работоспособное состояние;
- ограниченно работоспособное состояние;
- аварийное состояние.

Для иллюстрации рассмотрим определение категории технического состояния здания школы в г. Пензе. Здание построено по проектной документации, разработанной в конце 50-х годов XX века и состоит из трех прямоугольных блоков. Два блока имеют размеры в осях 9,7×20,4 м и средний блок размером 10,4×25,6 м. Все три блока четырехэтажные, три из которых имеют строительную высоту 3,9 м, а для среднего блока высота помещений четвертого этажа составляет 4,9 м (высота от пола до низа несущих железобетонных балок покрытия). Два блока размерами 9,7×20,4 м имеют четыре одинаковых этажа с высотой 3,9 м. К среднему блоку выполнен одноэтажный пристрой шириной 7,645 м и длиной 25,6 м в геометрических осях. Общая площадь здания составляет 2369,7 м² и общий объем 12270 м³.

Фундаменты являются монолитными, железобетонными, ленточными (ширина верхней части от 400 до 550 мм и высота от 1750 до 2300 мм). При анализе проектной документации обнаружено расхождение ширины подошвы фундаментов, которая в конструкции меньше, чем в проекте. Для всесторонней оценки фундамента здания были проведены инженерно-геологические изыскания грунтов в виде вскрытия трех скважин. Так, по результатам технического заключения, уровень грунтовых вод был зафиксирован на глубинах 3,6...3,9 м от поверхности земли, что соответствует абсолютной отметке +182,1...+182,5 м. Возможен подъем грунтовых вод в апреле-мае на 1,0 м, то есть до глубины от поверхности земли 2,6...2,9 м. Так как глубина заложения фундамента составляет от 2,7 до 3 м, то можно сделать вывод, что в период подъема уровня грунтовых вод подошва фундамента будет подтоплена. Исследование фундаментов показывает, что состояние конструктивных элементов фундаментов по СП 13-102–2004 и по ГОСТ 31937–2011 ограниченно работоспособное, а в соответствии с СП 13-102–2003 – недопустимое. Рекомендуются данное состояние характе-

ризовать как ограниченно работоспособное, что полностью описывает состояние данной конструкции и позволяет точно судить об ее качественных характеристиках.

Конструктивные элементы наружных стен здания выполнены из глиняного кирпича пластического формования на цементно-песчаном растворе толщиной от 380 до 550 мм. При обследовании наружных стен фасадов здания были выявлены места разрушений кладки стен вследствие её заморозания и последующего замораживания и оттаивания. Внутренняя поверхность наружных стен оштукатурена толщиной до 40 мм. При осмотре состояния кладки здания отмечено наличие пустот в растворе шва на величину до 40-70 мм. По нижней цокольной части здания отсутствует расшивка швов из цементно-песчаного раствора, вследствие чего раствор оказался вымытым из кладки. По стенам имеются вертикальные трещины с шириной раскрытия 1-3 мм. Трещины расположены в основном у опор железобетонных ригелей, под опорами которых отсутствуют железобетонные опорные подушки. Для определения прочностных свойств каменной кладки были взяты образцы кирпича и раствора, а затем путём лабораторного анализа была определена прочность кирпича и раствора на смятие по кладке первого этажа здания. Отмечены разрушение каменной кладки в месте нахождения труб наружного водостока, а также повреждение каменной кладки в месте расположения воронок и труб водостока. Обнаружено повреждение каменной кладки в месте слива от трубы водостока, которое находится над землей на расстоянии около 1-1,2 м. Тем не менее выход атмосферной влаги должен находиться над отмосткой максимум на высоте 200 мм и конец трубы должен иметь отгиб на 150-200 мм от вертикальной трубы. Имеются разрушение цокольной части стены, а также повреждение кладки у металлической эвакуационной лестницы. Отмечено разрушение кладки стен у оконного проёма. Анализ этих повреждений показал, что места каменной кладки, где находятся воронки и трубы наружного водостока с кровли здания, требуют проведения мероприятий по восстановлению их несущей способности.

Результаты прочностных испытаний показали, что прочность кирпича составляет М50, а прочность раствора – М25. Разрушение каменной кладки ведет к тому, что состояние кирпича можно признать ограниченно работоспособным. По результатам обследования состояние конструкций по ГОСТ 31937–2011 и СП 13-102–2004 классифицируется как ограниченно работоспособное (требуется проведение текущего ремонта), а по СП 13-102–2003 характеризуется как недопустимое.

При обследовании технического состояния конструктивных элементов перекрытий и покрытий в них не было отмечено дефектов и повреждений, позволяющих сомневаться в их несущей способности, поэтому можно сделать вывод, что они согласно СП 13-102–2003 и СП 13-102–2004 находятся в исправном состоянии, а по ГОСТ 31937–2011 – в работоспособном.

Кровля в здании чердачная и выполнена из деревянной стропильной системы с обрешёткой из брусков 50×70 мм с шагом до 700 мм, стропильных ног и деревянных стоек. При обследовании выявлено, что элементы стропильной системы замачивались из-за протечек от кровельного ковра. Стропильные ноги во многих местах подвергались гниению. Отмечены при обследовании протечки кровельного ковра из волнистого шифера. Физический износ как кровельного ковра, так и элементов стропильной системы составляет до 70 %, и требуется их полная замена. Исходя из этого состояние кровли можно определить как недопустимое по СП 13-102–2003 и как аварийное по СП 13-102–2004 и ГОСТ 31937–011.

Видим, что техническое состояние здания можно классифицировать в соответствии с предложенными категориями как ограниченно работоспособное.

Таким образом, по разным техническим документам категории технического состояния здания оцениваются по-разному.

Рассматривая категории технического состояния, приходим к выводу, что для заключения о состоянии конструктивных элементов зданий и сооружений достаточно идентифицировать их по четырем группам, объединив понятия нормативного уровня технического состояния и исправного состояния в одно – исправное состояние, а понятия недопустимого состояния и аварийного – в аварийное состояние. Так, при

недопустимом состоянии строительных конструкций требуется проведение мероприятий по их восстановлению и усилению с обязательным запретом эксплуатации, и то же самое необходимо сделать при аварийном состоянии. Поэтому рекомендуется при подготовке технического заключения о состоянии конструктивных элементов зданий и сооружений использовать только четыре категории, а именно:

- исправное;
- работоспособное;
- ограниченно работоспособное;
- аварийное.

Выводы:

• В настоящее время в технической литературе установлены различные подходы к определению категорий технического состояния зданий.

• При обследовании зданий рекомендуется принять следующие категории технического состояния по ГОСТ 31937–2011:

- нормативное техническое состояние;
- работоспособное состояние;
- ограниченно работоспособное состояние;
- аварийное состояние.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54257–2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – М.: Стандартинформ, 2011. – 19 с.
2. СП 13-102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004. – 26 с.
3. СП 53-102–2004. Общие правила проектирования стальных конструкций. – М., 2005. – 132 с.
4. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2011. – 65 с.

References

1. GOST 31937–2011. Buildings and constructions. Terms of survey and monitoring technical condition. – M.: Standartinform, 2011. – 65 p.
2. SP 13-102–2003. Terms examination bearing structures of buildings and structures. – M.: Gosstroy of Russia, 2004. – 26 p.
3. SP 53-102–2004. General rules for design of steel structures. – M., 2005. – 132 p.
4. GOST R 54257–2010. Reliability of constructions and foundations. Fundamentals and requirements. – M.: Standartinform, 2011. – 19 p.

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

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

Шумихина Виктория Андреевна,
магистрант

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

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

Shumikhina Victoria Andreevna,
Undergraduate student

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Д.В. Артюшин, В.А. Шумихина

Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований физической работы трубобетонных сжатых элементов и узлов их сопряжения. Предложены расчетные модели и аналитические зависимости сопротивления узлов сопряжения трубобетонных конструкций.

Ключевые слова: трубобетон, научные исследования, экспериментальная база, аналоговые стержневые модели, расчетные усилия, условие прочности

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL RESEARCHES OF KNOTS OF INTERFACE OF PIPE-CONCRETE CONSTRUCTIONS

D.V. Artyushin, V.A. Shumikhina

Results of experimental and theoretical researches of physical activity of pipe-concrete compressed elements and knots of their interface are given. The settlement models and analytical dependences of resistance of knots of interface of pipe-concrete designs are offered.

Keywords: pipe-concrete, scientific researches, experimental base, analog rod models, settlement efforts, durability condition.

Современная тенденция к строительству высотных зданий предполагает применение эффективных, экономичных и безопасных в эксплуатации вертикальных несущих конструкций. Этим требованиям в наилучшей степени отвечают трубобетонные колонны каркасных зданий. Широкое применение трубобетонных конструкций сдерживается отсутствием отечественных нормативных документов по их проектированию и расчету, что породило множество методик расчета, базирующихся на разных взглядах исследователей на работу трубобетонного элемента и его предельное состояние. Одной из причин невостребованности трубобетона является отсутствие экспериментальной базы и, как следствие, несовершенство существующих методов расчета. В этой связи можно полагать, что дальнейшие исследования в этой области весьма необходимы, полезны и перспективны.

На кафедре строительных конструкций Пензенского ГУАС проводится работа по подготовке испытаний монолитных узлов сопряжения трубобетонных конструкций, состоящих из двух, трех или четырех стыкуемых элементов. Целью испытаний является изучение характера работы указанных узлов с оценкой влияния концентрации напряжений. В программу испытаний включена серия образцов узлов, в которых за счет изменения материала трубчатой оболочки, а также за счет изменения технологии изготовления достигнуты плавные очертания узлов, снижающие концентрации напряжений и их отрицательное влияние на прочность. При включении в программу

исследований сопротивления трубобетонных конструкций ставилась задача развития области применения трубобетона в нашей стране как высокоэффективного строительного материала, широко используемого в зарубежной практике строительства [1, 2].

К настоящему времени выполнена работа по обзору и анализу результатов зарубежной практики, на основе чего выявлены малоизученные факторы, определяющие прочность трубобетонных конструкций. Наиболее важными оказались научные проблемы расчета и конструирования узлов сопряжения трубчатых элементов в пространственных стержневых структурах покрытия. Именно эта проблема оказалась наиболее актуальной и была принята за основу составления рабочей программы экспериментально-теоретических исследований трубобетонных и трубчатых конструкций.

Конструирование узлов трубобетонных конструкций делает свои первые шаги. Большинство трубобетонных несущих систем имеет сложные конструктивные решения узлов. Как правило, узловые соединения осуществляются с помощью болтов или фасонок либо с помощью электросварки без применения фасонок. По аналогии с трубчатыми стальными конструкциями, лучшими являются узлы без фасонок с криволинейным обрезом труб, при этом работа узлов трубобетонных конструкций улучшается из-за отсутствия местных деформаций оболочки, которая подпирается изнутри бетонным ядром. Существующие конструктивные решения узлов из стальных труб без применения фасонок показаны на рис. 1. Растянутые стержни могут не заполняться бетоном по всей длине, но в сопряжениях они должны иметь бетонные пробки для достижения поперечной жесткости оболочек пояса в узлах сопряжений с другими элементами.

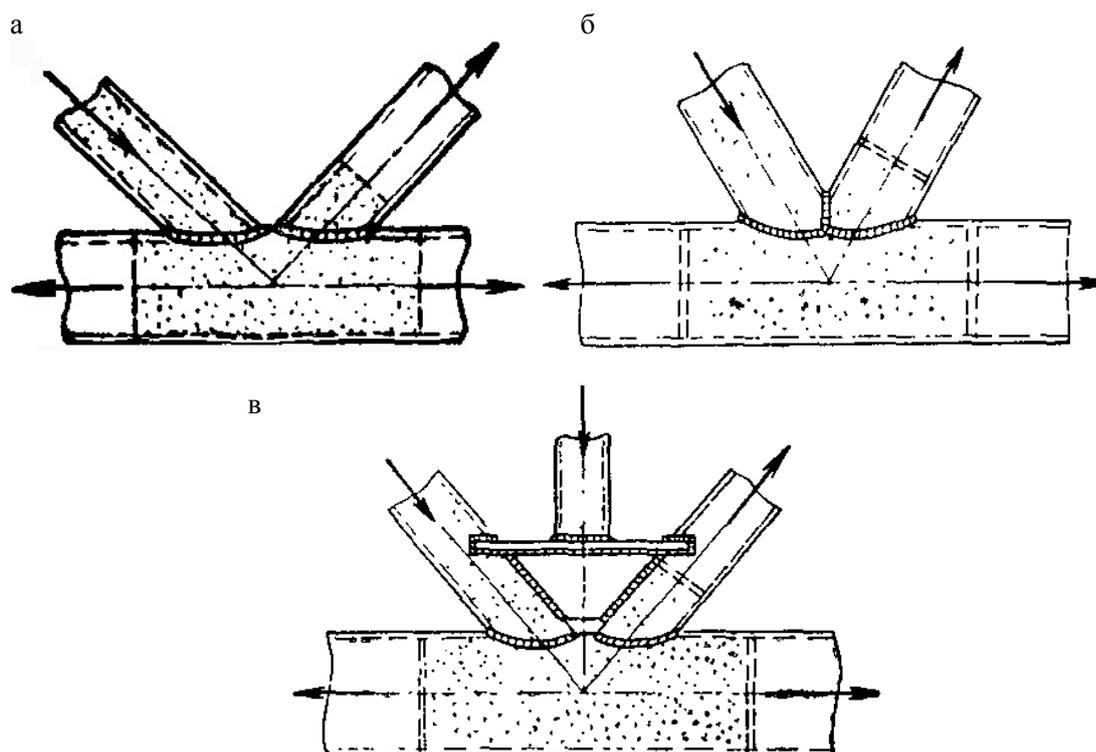


Рис. 1. Конструктивные решения узлов из стальных труб без фасонок:
а – без пересечения расколов; б – с пересечением расколов; в – с распоркой

Возможен и другой вариант сопряжения трубобетонных элементов, заключающийся в том, что узлы изготавливают как отдельные части, а сборку конструкции выполняют из стержней и узловых вставок. При этом все сборные сопряжения производятся простейшим способом – встык.

Проведенный анализ и систематизация конструктивных решений узлов сопряжения плоских и структурных пространственных покрытий большепролетных зданий и сооружений позволили принять за основу исследуемых узловых решений

пространственные узлы сопряжения структурных покрытий, конструктивные решения которых показаны на рис. 2. Соединяемые элементы узлов центрально нагружались сжимающими и растягивающими усилиями. Расчетная схема разрабатывалась на примере стальной трубчатой оболочки. На рис. 3 показана схема распределения усилий в узле сопряжения вертикального и горизонтального элементов.

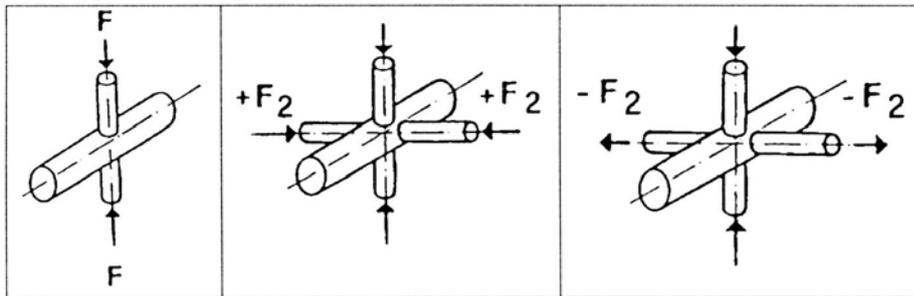


Рис. 2. Конструктивные схемы и схемы нагружения трубобетонных узлов соединений

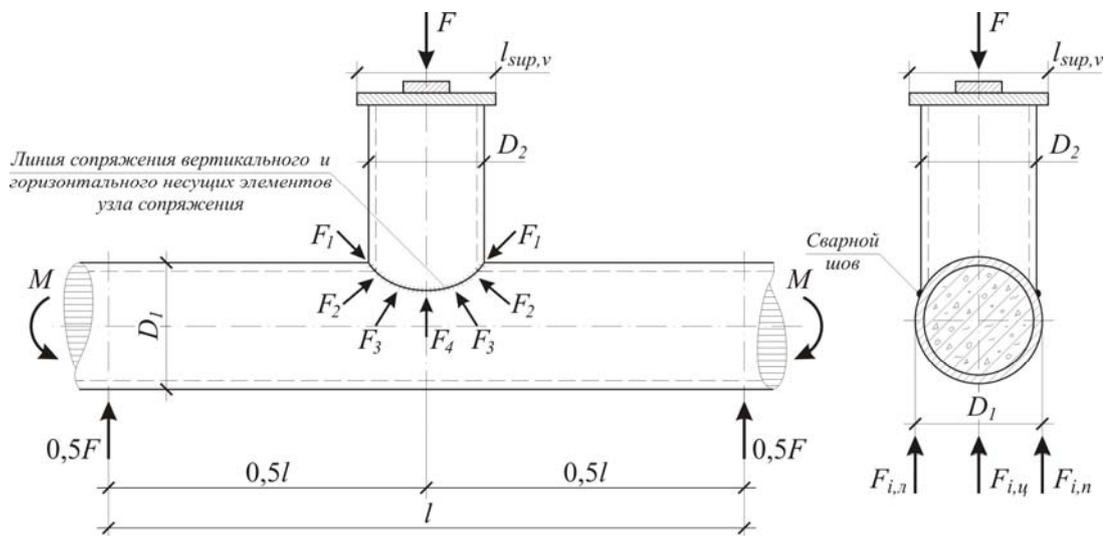


Рис. 3. Схема распределения усилий с вертикального элемента (стойки) по периметру его сечения на продольные несущие элементы трубобетонной структуры покрытия

При выборе конструктивных решений узлов проведен численный эксперимент с помощью программного комплекса SCAD. Получены нормальные (σ_x ; σ_y ; σ_z) и касательные ($\tau_{xy(xz)}$) напряжения, а также выявлены схемы напряженно-деформированного состояния исследуемых узлов трубобетонных элементов, которые показаны на рис. 4.

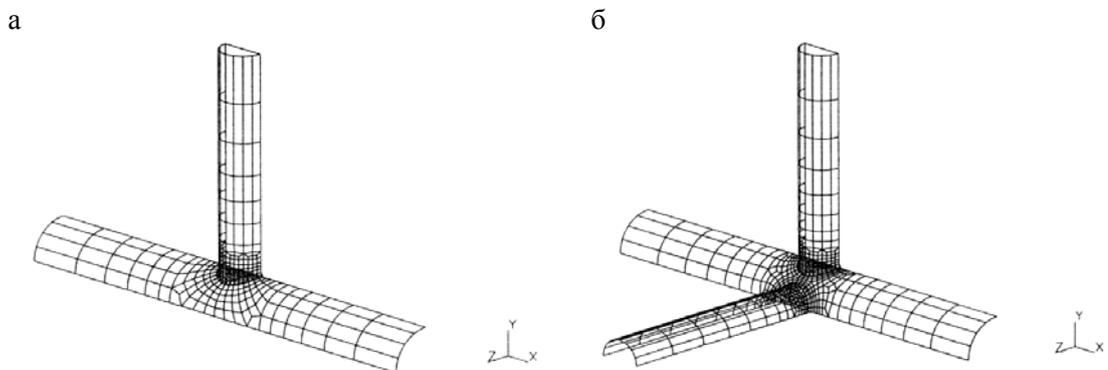


Рис. 4. Схемы напряженно-деформированного состояния узлов сопряжения оболочек трубобетона:

а – узел взаимно перпендикулярно расположенных двух элементов; б – то же трех элементов

Экспериментально выявлено, что стыки соединений элементов являются концентраторами напряжений, величины которых в несколько раз превышают соответствующие напряжения в сечениях, удаленных от зон стыков. Размеры зон концентрации напряжений достигают размеров, примерно равных диаметру стыкуемых элементов. При увеличении количества элементов узла происходит наслаивание зон концентрации напряжений, и соответственно увеличиваются величины напряжений.

Стальная труба работает как в продольном, так и в поперечном направлении и одновременно выполняет две функции – воспринимает продольные и поперечные усилия при сжатии и тем самым препятствует развитию продольных и поперечных деформаций в бетоне либо железобетоне, заполняющем пространство трубчатой оболочки. Следовательно, стенки металлической трубы при совместной работе с бетоном испытывают продольное сжатие (либо растяжение) и воспринимают поперечные силы от развития поперечных деформаций в бетоне. В последнем случае стенки трубы играют роль обоймы, препятствуя нарастанию поперечных деформаций в бетоне.

С целью решения актуальной проблемы расчета прочности узлов сопряжения трубобетонных конструкций, базируясь на методологических основах анализа и синтеза сложных многокритериальных систем [3–5], разработали расчетные аналоговые стержневые модели – плоскую модель АСМ и имеющую пространственное очертание, соответствующее расположению осей трубобетонных элементов, модель АПСМ (рис. 5, 6). Научным обоснованием и целесообразностью использования стержневых моделей для совершенствования методов расчета трубобетонных конструкций и узлов их сопряжения, применимых для так называемых «коротких» элементов, является тот факт, что прочность таких элементов определяется наклонными сжатыми бетонными полосами, работающими в стесненных условиях слабонагруженного окружающего бетона [6–8].

На основе разработанных расчетных моделей составлены уравнения прочности узлов сопряжения трубобетонных конструкций по сжатым наклонным полосам бетона и растянутым арматурным поясам, соответственно:

$$F \leq 2\varphi_b \cdot R_b \cdot b \cdot l_b \cdot \sin \theta ;$$

$$F \leq 2\varphi_s \cdot R_s \cdot A_s \cdot \sin \theta .$$

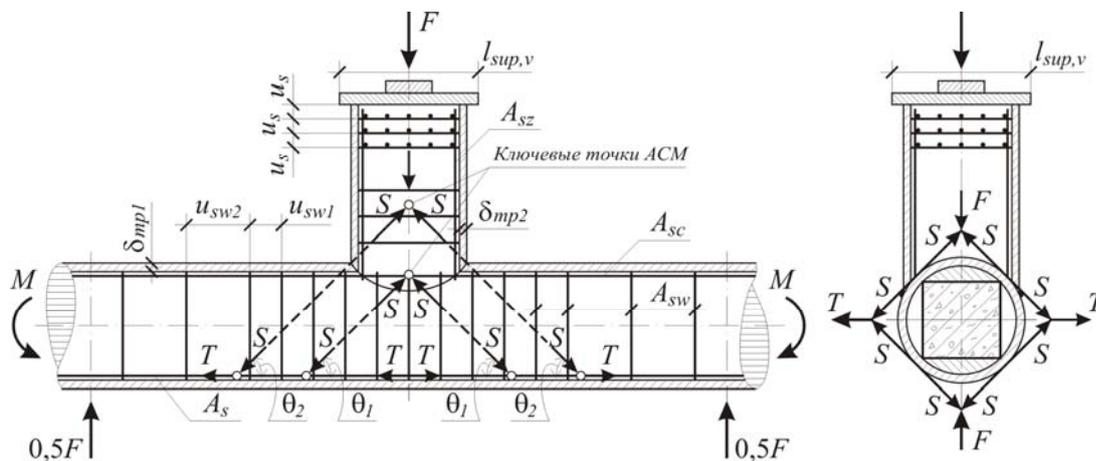


Рис. 5. Схема аналоговой стержневой расчетной модели АСМ.

Схема армирования узлов трубобетонных структур покрытия зданий (или сооружений)

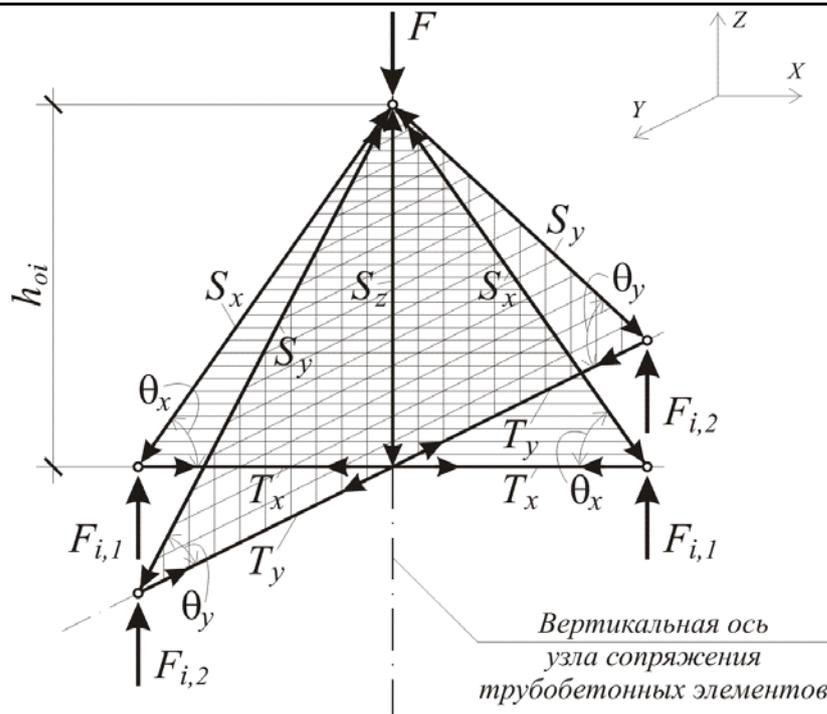


Рис. 6. Аналоговая пространственная стержневая модель АПСМ узла сопряжения трубобетонной пространственной структуры покрытия зданий и сооружений:

h_{oi} – высота расчетной модели узла сопряжения продольных и поперечных трубобетонных элементов; F_i – реактивные усилия; $F = \sum F_i$ – расчетная внешняя сила; $S_{x(y)}$ – сжимающие усилия; $T_{x(y)}$ – растягивающие усилия; θ_i – углы наклона сжатых стержней к горизонтали

Выводы

Проведенные экспериментально-аналитические исследования показывали целесообразность использования представленных аналоговых стержневых моделей при совершенствовании методов расчета трубобетонных конструкций и узлов их сопряжения.

Разработанные модели с необходимой точностью описывают физическую картину сопротивления узлов сопряжения трубобетонных конструкций, а предлагаемые расчетные зависимости обеспечивают безопасность при проектировании трубобетонных конструкций, повышают их расчетную несущую способность и сокращают расход материалов в целом.

Список литературы

1. Баранова, Т.И. Нетрадиционное использование трубобетонных узлов сопряжения конструкций в монолитном строительстве / Т.И. Баранова, Д.В. Артюшин, Е.Н. Александров // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – Н. Новгород, 2005. – Вып. 8.
2. Артюшин, Д.В. Развитие области применения трубобетона как высокоэффективного строительного материала для несущих конструкций: Д.В. Артюшин, В.А. Шумихина, Я.А. Азимова // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб. статей XVI Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2016. – С. 43–49.
3. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 5–8. – С. 219–225.
4. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Т. 8. – № 9. – С. 441–445.

5. Бормотов, А.Н. Многокритериальный синтез композита как задача управления / А.Н. Бормотов // Вестник Тамбовского государственного технического университета – Тамбов, 2010. – Т. 16. – № 4. – С. 924–937.

6. Баранова, Т.И. Развитие экспериментальной базы аналоговых моделей узлов сопряжения колонн и балок монолитных каркасов / Т.И. Баранова, В.А. Новиков, Д.В. Артюшин // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2005. – № 9. – С. 67.

7. Баранова, Т.И. Совершенствование метода расчета монолитных узлов сопряжения железобетонных балок на основе аналоговых расчетных стержневых моделей / Т.И. Баранова, Д.В. Артюшин, А.И. Агуреев // Academia. Архитектура и строительство. – 2007. – № 1. – С. 74–78.

8. Артюшин, Д.В. Экспериментально-аналитические исследования монолитных узлов сопряжения железобетонных балок / Д.В. Артюшин, В.А. Шумихина, Я.А. Азимова // Моделирование и механика конструкций. – 2016. – № 3. – С. 15.

References

1. Baranova, T.I. Nonconventional use of pipe-concrete knots of interface of constructions in a monolithic building / T.I. Baranova, D.V. Artyushin, E.N. Aleksandrov // Bulletin of the Volga regional department of the Russian academy of architecture and construction sciences. – N. Novgorod, 2005. – Release 8.

2. Artyushin, D.V. Development of the region of application of pipe-concrete as a highly effective building material for bearing constructions / D.V. Artyushin, V.A. Shumikhina, Ya.A. Azimova // Effective building constructions: theory and practice: Collection of articles of XVI International scientific-technical conference. – Penza, 2016. – P. 43–49.

3. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 5-8. – P. 219–225.

4. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P. 441–445.

5. Bormotov, A.N. Multicriteria synthesis of a composite as problem of management / A.N. Bormotov // Bulletin of Tambov State Technical University. – Tambov, 2010. – Vol. 16. – № 4. – P. 924–937.

6. Baranova, T.I. Development of experimental base of analog models of knots of interface of columns and beams of monolithic frameworks / T.I. Baranova, V.A. Novikov, D.V. Artyushin // Bulletin of the Office of construction sciences of the Russian academy of architecture and construction sciences. – 2005. – № 9. – P. 67.

7. Baranova, T.I. Improvement of the method of calculation of monolithic knots of interface of reinforced concrete beams on the basis of analog settlement rod models / T.I. Baranova, D.V. Artyushin, A.I. Agureev // Academia. Architecture and construction. – 2007. – № 1. – P. 74–78.

8. Artyushin, D.V. Experimental and analytical researches of monolithic knots of interface of reinforced concrete beams / D.V. Artyushin, V.A. Shumikhina, Ya.A. Azimova // Modelling and mechanics of designs. – 2016. – № 3. – P. 15.

УДК 624.012

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Скачков Юрий Петрович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»,
ректор
E-mail: office@pguas.ru

Мищенко Вера Николаевна,
кандидат технических наук

Снежкина Ольга Викторовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Начертательная
геометрия и графика»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Skachkov Yuri Petrovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Building structures», Rector
E-mail: office@pguas.ru

Mishchenko Vera Nikolaevna,
Candidate of Sciences

Snezhkina Olga Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Descriptive geometry and
graphics»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СХЕМ АРМИРОВАНИЯ РОСТВЕРКОВ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Ю.П. Скачков, В.Н. Мищенко, О.В. Снежкина

По результатам экспериментальных исследований определены схемы разрушения и трещинообразования ростверков свайных фундаментов под колонны, выявлены эффективные виды армирования.

Ключевые слова: свайные фундаменты, железобетонные ростверки, армирование, разрушение и трещинообразование, схемы

DEFINITION OF EFFECTIVE PATTERNS OF REINFORCEMENT OF RAFT FOUNDATIONS PILE FOUNDATIONS

Y.P. Skachkov, V.N. Mishchenko, O.V. Snezhkina

According to the results of the pilot study the scheme of destruction and cracking of raft pile foundations under the columns are defined. The most effective types of reinforcement are revealed.

Keywords: pile foundations, concrete pile caps, reinforcement, demolition and cracking of the scheme

В рамках комплексной программы исследований напряженно-деформированного состояния железобетонных ростверков свайных фундаментов под колонны [1–3] проводились испытания натуральных образцов при изменении схем и процента армирования.

Всего испытано пять ростверков. Характеристики опытных образцов представлены в таблице.

Опытные образцы имели четыре вида армирования (схемы армирования изображены на рис. 1). Первый вид – сетка с прямоугольными ячейками (ростверки Р-7, Р-1). Второй вид – концентрация арматуры по контуру ростверка и над опорными площадками-сваями (ростверк Р-9). Третий вид – концентрация арматуры по контуру ростверка над опорными площадками-сваями с применением пересекаемых в центре диагонально расположенных арматурных стержней (ростверк Р-6). Четвертый вид –

концентрация арматурных стержней в диагональном направлении над опорами-сваями (ростверк Р-8).

Марка образцов	БЕТОН			АРМАТУРА			Геометрические размеры		
	$R_b \times 10^3$, МПа	$E_b \times 10^3$, МПа	$R_{bt} \times 10^3$, МПа	класс	$R_s \times 10^3$, МПа	$E_s \times 10^3$, МПа	L , мм	h , мм	$l_{sup1} \times l_{sup2}$, мм×мм
Р-1	18,9	25,6	1,28	А-3	381,3	210	750	300	15×15
Р-7	25,8	32,1	1,53	А-3	553	200	750	300	15×15
Р-9	25,8	32,1	1,53	Вр-1	458,1	210	750	300	15×15
Р-6	25,8	32,1	1,53	Вр-1	455	200	750	300	15×15
Р-8	25,8	32,1	1,53	Вр-1	458,1	200	750	300	15×15

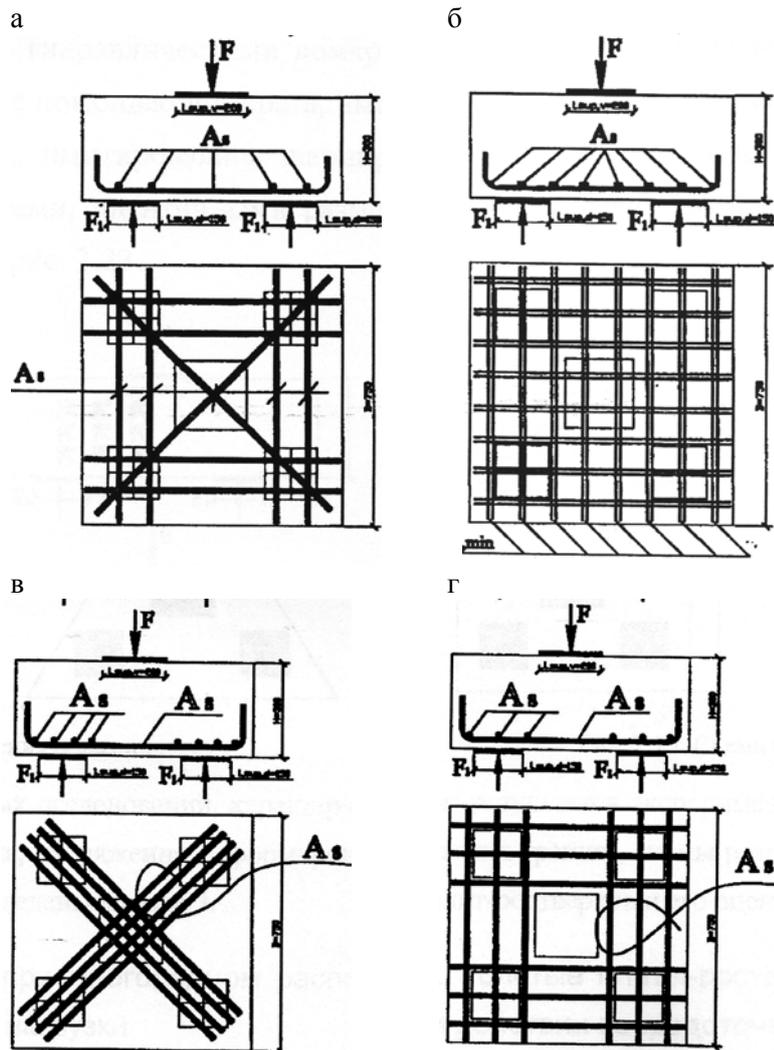


Рис. 1. Схемы армирования образцов:
а – (Р-6); б – (Р-7); в – (Р-8); г – (Р-9)

По результатам экспериментальных исследований выявлены следующие особенности напряженно-деформированного состояния железобетонных ростверков.

Характер трещинообразования опытных образцов

Ростверки с различной схемой армирования

Образец P-7. При нагрузке $F=0,5 - 0,6F_{\text{разр}}$ на боковых поверхностях ростверка в растянутой зоне первыми образовались вертикальные трещины небольшой высоты. С дальнейшим ростом нагрузки характер трещинообразования почти не изменялся, но наблюдался активный рост трещин по высоте, и к нагрузке $F=0,9 - 0,95F_{\text{разр}}$ вертикальная трещина по длине составила почти 0,9 высоты ростверка (рис.2). При нагрузке, близкой к разрушающей, ростверк был разделен нормальными трещинами на четыре части.

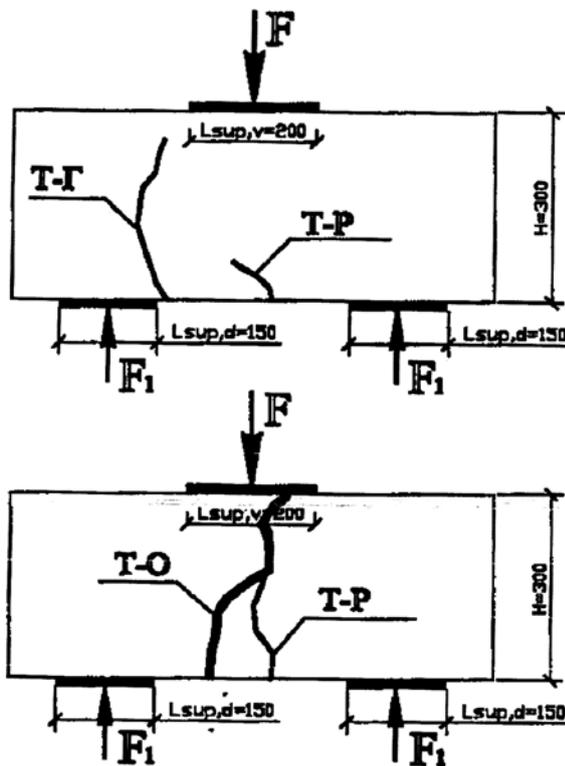


Рис. 2. Схема трещинообразования образца P-7

Образец P-9. Характер образования и развития трещин, а также вид разрушения аналогичны образцу P-7. Отличительной особенностью является то, что усилие, при котором образовались нормальные трещины, составило приблизительно 0,6 от разрушающей нагрузки, при этом высота нормальной трещины в момент образования была выше, чем в образце P-7. Ширина раскрытия трещин образца P-9 мало отличалась от ширины раскрытия трещин образца P-7. К моменту разрушения нормальные трещины достигли верхней грани.

Образец P-6. Характер образования и развития трещин образца P-6 и образца P-9 одинаков.

Образец P-8. В отличие от предыдущих образцов (P-6, P-7, P-9) в образце P-8 изменяется характер образования трещин на нижней поверхности ростверка. Вместо крестообразной траектории нормальных трещин, описанных выше, в центральной части нижней поверхности ростверка образовалась густая сеть прерывистых взаимно перпендикулярных трещин. Начальное усилие образования сетки трещин не зафиксировано по техническим причинам. От участка, в котором расположена густая сетка трещин, развивались магистральные трещины, которые можно назвать нормальными. На боковых гранях нормальные трещины образовались при весьма высокой нагрузке $F=0,7F_{\text{разр}}$ и занимали большую часть высоты ростверка. При разрушении образца трещины на боковых поверхностях ростверка P-8 имели очень развитые берега за счет образования серии прерывистых трещин, перпендикулярных основной. В момент

разрушения ширина указанных трещин, как и в образцах Р-7, Р-9, Р-6, может быть охарактеризована как зияющая.

Ростверки с различным процентом армирования

Характер трещинообразования опытных образцов при изменении процента армирования исследован на образцах Р-1 ($\mu_s=0,7\%$) [1] и Р-7 ($\mu_s=0,1\%$). Ростверки имели одинаковый вид армирования в виде сетки (см. рис. 1).

Схемы разрушения образцов ростверков.

Ростверки с различной схемой армирования

Схема разрушения образца Р-7 описана выше.

Схемы разрушения образцов Р-6, Р-9 аналогичны схеме разрушения образца Р-7. Ростверки разделены на четыре части крестообразной траекторией трещин, проходящей по средней части пролета между сваями подобно образцу Р-7.

В образце Р-8, как и в образце Р-7, разрушение произошло по растянутой зоне при очень быстром развитии нормальных трещин, достигающих верхней грани.

Ростверки с различным процентом армирования

В образце Р-1 (с процентом армирования 0,7 %) разрушение произошло по сжатой зоне.

Разрушение в образце ростверка Р-7 произошло по растянутой зоне при активном развитии трещин в бетоне нижней грани, имеющих крестообразную траекторию и располагающихся в средней части в пролете между осями свай. При разрушении нормальные трещины достигали верхней грани. В бетоне боковой грани ростверка Р-7 (с процентом армирования 0,1 %) наклонных трещин не образовалось.

Оценка влияния основных факторов на работу ростверка

Изменение вида армирования

Величина разрушающей силы в образце Р-8, с диагонально расположенными пучками арматуры, является максимальной по сравнению с образцами Р-6, Р-9, Р-7 и превышает разрушающую силу образцов Р-6 и Р-9 в 1,2 раза и в 1,5 раза – образца Р-7. Напомним, что процент армирования ростверков Р-7, Р-9, Р-6, Р-8 был близок друг к другу.

Характерно, что разрушающая сила ростверков Р-6 и Р-9 была приблизительно одинаковой и выше в 1,4 раза разрушающей силы в ростверке Р-7.

Изменение процента армирования

Разрушающая сила в образце Р-1 в 2,3 раза превышает разрушающую силу Р-7. Целесообразно отметить особенность работы образца Р-1. В отличие от образца Р-7 в пролете между осями свай в образце Р-1 образовалось несколько небольших по высоте вертикальных трещин. При этом наклонные трещины выделяют растянутую зону ростверка и являются внутренними гранями между сжатой и растянутой зонами. Таким образом, разрушение образца Р-1 по сжатой зоне происходит с активным развитием нормальных трещин в растянутом бетоне.

Выводы

1. При проведении экспериментальных исследований была произведена классификация трещин в ростверках свайных фундаментов под колонны. Выделены три вида характерных трещин – вертикальные трещины в растянутой зоне Т-Р, наклонные трещины Т-Г (выделяющие участки бетона, в пределах которых концентрируются сжимающие напряжения), трещины в сжатой зоне Т-С.

2. Выявлены три схемы разрушения: по сжатой зоне бетона, расположенной между грузовой и опорной площадками; по растянутой зоне (по горизонтальному армирующему поясу); смешанное разрушение (совместное разрушение по сжатой и растянутой зонам).

3. Увеличение процента армирования продольной арматурой (от 0,1 до 0,7) приводит к изменению схем разрушения и активному росту величины разрушающей силы (в 2,3 раза).

4. Изменение вида армирования путем концентрации рабочей продольной арматуры над опорами-сваями повышает разрушающую силу в 1,4 раза по сравнению с армированием сеткой при одинаковом проценте армирования.

5. Установлена равная несущая способность у образцов Р-6 (с концентрацией арматуры по контуру ростверка над опорными площадками–сваями с применением пересекаемых в центре диагонально расположенных арматурных стержней) и Р-9 (с концентрацией арматуры по контуру ростверка и над опорными площадками-сваями).

6. Опытным путем определен эффективный вид армирования. Армирование ростверков продольной арматурой по диагонали увеличивает величину разрушающей силы в 1,5 раза по сравнению с армированием сеткой и в 1,2 раза по сравнению с армированием по контуру и по диагонали и контуру (при одинаковом проценте армирования).

Список литературы

1. Скачков, Ю.П. Схемы разрушения и трещинообразования ростверков свайных фундаментов под колонны / Ю.П. Скачков, В.А. Мищенко, О.В. Снежкина // Региональная архитектура и строительство – 2016. – № 2(27) – С.87–93.

2. Определение схем разрушения и трещинообразования коротких железобетонных балок по экспериментальным данным / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 74–81.

3. Моделирование работы коротких железобетонных балок / Т.И. Баранова, Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, Р.А. Ладин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – № 2 (36). – С. 54–60.

4. Снежкина, О.В. Оценка каркасно-стержневых моделей для определения трещиностойкости балок / О.В. Снежкина, Ю.П. Скачков, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 101–104.

5. Снежкина, О.В. Оценка прочности железобетонных балок со средним пролетом среза / О.В. Снежкина, Ю.П. Скачков, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 1. – С. 110–115.

6. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>

7. Danilov, A. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P. 375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>

8. Shein, A.I. Numerical study of short reinforced concrete beams / A.I. Shein, O. V. Snezhkina, R. A. Ladin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P.361-365. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5246>

9. Корнюхин, А.В. Экспериментально-теоретические исследования толстых плит: монография / А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова, О.В. Снежкина. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 132 с.

References

1. Skachkov Y. P., Mishchenko V. A., Snezhkina O. Schemes of destruction and cracking of raft foundations pile under the columns Y.P. Skachkov, V.A. Mishchenko, O.V. Snezhkina // Regional architecture and construction. – 2016. – № 2(27). – P. 87–93.

2. Definition of schemes of destruction and cracking of short concrete beams according to experimental data / Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova, A.V. Kornyuhin // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3. – P. 74–81.

3. Modeling work of short reinforced concrete beams / T.I. Baranova, Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Journal of Siberian Russian State Automobile and Road Academy. – 2014. – No. 2 (36). – P. 54–60.

4. Snezhkina, O.V. Estimation of frame-and-rod models for the determination of fracture toughness of beams / O.V. Snezhkin, Y.P. Skachkov, R.A. Lading // Regional architecture and engineering. – 2015. – No. 1. – P. 101–104.

5. Snezhkina, O.V./ Assessment of strength of reinforced concrete beams with an average span of cut / O.V. Snezhkina, Y.P. Skachkov, A.A. Kiselev // Regional architecture and engineering. – 2016. – No. 1. – P. 110 – 115.

6. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>

7. Danilov, A. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P. 375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>

8. Shein, A.I. Numerical study of short reinforced concrete beams / A.I. Shein, O.V. Snezhkina, R. A. Ladin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P.361-365. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5246/>

9. Kornyuhin, A.V. Experimental and theoretical investigation of thick plates: Monograph / A.V. Kornyuhin, M.V. Kochetkova, O.V. Snezhkina. – Penza: ИГУАС, 2013. – 132 p.

УДК 711.4-168:711.12

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

Петрянина Любовь Николаевна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Городское строительство и
архитектура»
E-mail: gsia@pguas.ru

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

Тамбовский государственный технический университет

Россия, 392000, г.Тамбов, ул.Советская,
д.106

Монастырев Павел Владиславович,
доктор технических наук, профессор,
декан Инженерно-строительного института
E-mail monasteryrev@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Petryanina Lubov Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Urban construction and
Architecture»
E-mail: gsia@pguas.ru

Derina Marya Aleksandrovna,
Competitor of the department «Urban
Construction and Architecture»
E-mail: gsia@pguas.ru;

Tambov State Technical University

Russia, 392000, Tambov, 106, Sovetskaya St.

Monastyrev Pavel Vladislavovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Dean of the Institute of Civil Engineering
E-mail monasteryrev@rambler.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ: НОВАЯ И СЛОЖИВШАЯСЯ ЗАСТРОЙКА

Л.Н. Петрянина, М.А. Дерина, П.В. Монастырев

Рассмотрены преобразования и преемственность развития городов. Приведен анализ приемов современной застройки в условиях реконструкции. Показано, как нарушается целостность рядовой застройки в системе городской среды. Предлагается проведение комплекса многоплановых исследований по определению градостроительной ценности застройки с учетом природно-климатических и региональных особенностей, принципов планировки и приемов застройки.

Ключевые слова: городская среда, реконструкция, проектирование, градостроительство, рядовая застройка, охранная зона, регламентация, природно-климатические и региональные особенности

RECONSTRUCTION OF URBAN ENVIRONMENT: NEW AND EXISTING BUILDINGS

L.N. Petryanina, M.A. Derina, P.V. Monastyrev

Transformation and continuity of urban development is examined. The analysis of modern development in terms of reconstruction is given. It is shown how disrupted the integrity of the terraced system in the urban environment in. It is planned to conduct complex and multifaceted studies to determine urban values of buildings taking into account climatic and regional characteristics, planning and development.

Keywords: urban environment, reconstruction, design, urban planning, private building, security area, regulation, climatic and regional characteristics

Тема старой и новой застройки городов существует почти столько же, сколько и сами города. Консервативная устойчивость материальной среды, её отставание от функциональных, социальных и технических требований на каждом этапе развития любого города требуют постоянного совершенствования и преобразования, т.е. реконструкции, являющейся составной частью градостроительной деятельности.

Так, в настоящее время при реконструкции городов наиболее значимой является задача сохранения и преемственного развития присущих этим городам индивидуальных особенностей. Задача это не новая, и возникла она далеко не сегодня. Наиболее талантливые архитекторы всегда стремились тактично ввести вновь проектируемые объекты в сложившуюся застройку.

История развития городов показывает, что, хотя каждая эпоха порождала градостроительные принципы, присущие всем городам, каждый из них имел свой индивидуальный облик, благодаря природной ситуации, особенностям ландшафта, исторического развития, социально-экономическим условиям, которые отразились на планировочной организации застройки.

Однако практика современной застройки в условиях реконструкции при всех её положительных сторонах решения социальных и технических проблем привела к нивелированию или утрате индивидуальных черт. Такая тенденция опасна особенно там, где размах и объём строительства достаточно велик. При этом позиция такова: чем меньше сохраним, тем меньше помех новому. Но новое, основанное на развитии определённых принципов, лишь подчёркивает своеобразие города. Поэтому целью развития сложившихся городов должно являться системное изучение, понимание и развитие их особенностей.

Конечно, в процессе градостроительного проектирования специалисты всесторонне изучают город, проводят натурные обследования, собирают исходные данные. Но выполняется это не всегда достаточно глубоко и системно. Проектировщик должен знать не только, как складывался город, но и почему он так сложился, какие факторы и явления обусловили именно такое решение. Необходим анализ природного и городского ландшафтов, планировочной структуры и функциональной организации застройки, озеленения и благоустройства, особенностей бытового уклада, национальной самобытности и др., чтобы разобраться в закономерностях и их важности для развития города.

Можно привести достаточно примеров градостроительной деятельности, нарушающей принципы формирования пространства, обусловленной природными условиями, не лучшим образом сказавшейся на своеобразии города, его среде и экологии.

Для сохранения облика города и его индивидуальных особенностей следует соблюдать преемственное развитие градостроительных традиций при реконструкции и новом строительстве, а также максимально сохранять историко-культурное наследие, активно включая его в жизнь города. При этом не надо сохранять всё, замедляя прогрессивное развитие города. В первую очередь, здесь следует обратить внимание на рядовую застройку, создающую лицо города, которой уделяется недостаточное внимание.

Рядовая застройка представляет собой не механическое объединение зданий и сооружений, а элемент среды города, в которой здания сочетаются с природным ландшафтом и планировочной структурой. К сожалению, примеров, нарушающих или уничтожающих целостность рядовой застройки, становится всё больше и больше. Чтобы избежать таковых, степень сохранения рядовой застройки должна зависеть от градостроительной ситуации, особенностей ландшафта, пространственной композиции и т.д. Поэтому следует говорить не столько о сохранении рядовой застройки, сколько о её совершенствовании и преобразовании. При этом сохранять надо здания, обладающие такими качествами, которые делают их неотделимыми от конкретного города.

Рядовая застройка, как правило, не обладает художественной ценностью, а характеризуется качеством, производным от градостроительной роли здания. Неслучайно при разработке проектов зон охраны памятников делаются попытки выделения зданий рядовой застройки, подлежащих сохранению. Такие здания обычно определяются натурными обследованиями без обозначения чётких критериев. В результате полный учёт градостроительных качеств рядовой застройки зависит от квалификации и интуиции архитекторов, проектирующих охранные зоны памятников.

Часто рядовая застройка, образуя значительные по территории массивы, играет и самостоятельную роль в формировании облика города. Хорошими примерами являются города Поволжского региона, в которых массивы рядовой застройки определяют лицо города. Отдельные массивы рядовой застройки возникли там в периоды развития города и в результате дополнения уже сложившейся застройки новыми зданиями. Характер рядовой застройки в этих городах определился историческими, региональными, природно-климатическими, национальными и бытовыми условиями, которые учитываются при разработке и утверждении охранных зон. Несмотря на это, количество градостроительных ошибок не уменьшается. Поэтому следует не просто определить режим каждой зоны, но и дать рекомендации по их застройке и застройке наиболее ответственных участков, благоустройству и использованию градостроительного потенциала, а также регламентации строительной и хозяйственной деятельности. Регламентация же предполагает проведение комплекса многоплановых исследований: поэтапное развитие планировочной структуры и пространственной организации города, определение ценности каждого здания или элемента застройки; уточнение списка памятников, определение градостроительной ценности застройки, выявление ценных элементов наследия с выделением их типов. И это только небольшая часть всего комплекса исследований.

Рядовая застройка, являющаяся основой городского своеобразия, мало привлекает внимание исследователей. Поэтому при реконструкции в результате массового сноса рядовой застройки становится очевидным, что с её сносом исчезает своеобразный исторический облик города. В этой связи возникает необходимость разработки методики определения градостроительной роли рядовой застройки. Например, выявление характерных типов городской застройки можно проводить, анализируя исторические этапы развития города и их отражение на застройке, характер территориального развития города, природно-климатические, национальные, бытовые и региональные условия города, предопределяющие характерные приемы застройки.

Рядовая застройка по своей структуре неоднородна, так как приёмы застройки и типы зданий зависят от периода строительства, состава и возможностей застройщиков. Отдельные здания как составляющие элементы городской среды, могут быть нейтральными или активными, определяющими или нарушающими характер среды. Поэтому главной является их градостроительная роль, а не художественная ценность. А оценка градостроительной роли каждого здания служит основанием для определения его ценности и целесообразности его сохранения или сноса.

Участок городской среды, на котором располагается то или иное здание, может быть отнесён к различным характерным для города типам по следующим критериям: времени формирования участка, размещению участка на территории города и его функциональному назначению, планировочной структуре, приёмам застройки, типам домов, масштабу и масштабности, стилевой характеристике застройки, характеру озеленения и благоустройства. Учёт названных критериев должен стать одним из первых шагов при определении роли рядовой застройки.

Необходимо также понимать, что только комплексный подход к рассмотрению и учёту мероприятий, влияющих на развитие города, на всех стадиях проектирования может дать положительный результат по сохранению и созданию индивидуального облика города.

Таким образом, при изменении или преобразовании городской среды изучение её должно быть всесторонним. Предполагая реконструкцию сложившейся застройки, следует изучить: принципы, особенности и закономерности построения существующей застройки, градостроительную роль и место существующей застройки в общей системе композиции города. И если это среда ценная с градостроительной точки зрения, то место новых сооружений в ней должно быть подчинённым или нейтральным. При преобразовании ценной среды следует учесть принципы планировки, приёмы застройки, характер размещения зданий и их величину, этажность, пропорции, материал, цвет, масштабность. Это даст возможность органично увязывать принимаемые

решения по пространственной организации города со всеми аспектами его развития, сохраняя при этом индивидуальный облик.

Список литературы

1. Куршакова, В.Н. Развитие концепций регионализма в архитектурном проектировании / В.Н.Куршакова // Известия вузов. – 2011.– С. 72–75.
2. Малинина, К.В. Методический подход к оценке и сохранению исторической городской среды / К.В. Малинина // Экономическое возрождение России. – СПб., 2005. – №3(5). – С.64–65.
3. Ситдиков, С.А. Управление ремонтом жилищного фонда города / С.А. Ситдиков. – СПб.: Лейла, 2008. – С.150–158.

References

1. Kurshakova, V.N. The development of regionalism concepts in architectural design / V.N. Kurshakova // Proceedings of the universities. – 2011. – P. 72–75.
2. Malinin, K.V. The methodical approach to the evaluation and preservation of the historic urban environment / K.V. Malinin // Economic revival of Russia. – SPb., 2005. – №3 (5). – P.64–65.
3. Sitdikov, S.A. Repair management of the housing stock of the city / S.A. Sitdikov. – SPb.: Leila, 2008. – P.150–158.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 620.9

*Пензенский государственный
технологический университет*

Россия, 440039, г. Пенза,
проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11,
тел.: (8412) 20-42-37

Силаков Вадим Романович,
младший научный сотрудник
E-mail: svr007@bk.ru

Баклин Андрей Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Техническое управление
качеством»
E-mail: baklin56@bk.ru

Penza State Technological University

Russia, 440039, Penza, 1a / 11,
travel Baydukova / st. Gagarina,
tel.: (8412) 20-42-37

Silakov Vadim Romanovich,
Junior researcher
E-mail: svr007@bk.ru

Bucklin Andrey Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Technical quality control»
E-mail: baklin56@bk.ru

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РАБОТЫ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

В.Р. Силаков, А.А. Баклин

Описана система удаленного мониторинга, которая позволяет в онлайн-режиме контролировать и переключать параметры работы горячего водоснабжения (ГВС) столовой ПензГТУ, а также передавать сохраненные для анализа данные с солнечных коллекторов и теплового насоса в локальную сеть университета и в интернет.

Ключевые слова: мониторинг, системы солнечного теплоснабжения, возобновляемые источники энергии, солнечный коллектор, гелиоустановка

REMOTE MONITORING OF LOCAL OBJECTS OF SOLAR HEATING SYSTEM

V.R. Silakov, A.A. Bucklin

Remote monitoring system allows on-line control and switch hot water (DHW) in PenzGTU canteen, as well as to transfer for analysis the stored data from solar collectors and a heat pump to a local university network and the Internet.

Keywords: monitoring, solar heating systems, renewable energy, solar panels, solar power plant

Нетрадиционные (возобновляемые) источники энергии являются актуальным энергетическим ресурсом для большинства стран мира. Использование возобновляемых источников энергии позволяет обеспечить энергетическую безопасность, улучшить экологическую ситуацию в регионе и повысить социально-бытовые условия населения, проживающего удаленно от централизованных линий энергоснабжения.

Доля нетрадиционных источников энергии в общем мировом потреблении энергоресурсов пока невелика и составляет 2 %, при этом динамика их развития достаточно внушительная. Так, за период 2003–2013 гг. использование нетрадиционных источников энергии увеличилось в 4 раза, а в странах Европы – практически в 5 раз

(не учитывая гидроэнергетику) [1]. Тенденция роста использования нетрадиционных источников энергии в мире остается неизменной, а сфера применения увеличивается за счет популяризации в информационном поле и совершенствования технических решений.

В настоящее время системы солнечного теплоснабжения (ССТ) становятся все более популярными во многих странах мира. Анализ исследований [2], посвященных применению ССТ, показал, что в качестве нетрадиционных источников энергии для теплоснабжения локального объекта наиболее рационально использовать плоские солнечные коллекторы (СК) и воздушные тепловые насосы (ТН) или их комбинацию. Эти устройства эффективно преобразуют солнечную и скрытую воздушную энергию в тепловую. В качестве резервного источника используется, как правило, трубчатый электронагреватель (ТЭН).

Рассмотрим структуру комбинированной ССТ на примере студенческой столовой ПензГТУ. Ее можно представить в упрощенном виде как определение общей теплопроизводительности системы ССТ через теплопроизводительности генерирующих тепловых устройств ТН, СК и ТЭН. Тогда условие баланса тепловой мощности системы запишется в виде

$$q_{dhw}(t) = q_{wp}(t) + q_{eh}(t) + q_u(t), \quad (1)$$

где $q_{dhw}(t)$ – общее потребление на систему ГВС; $q_{wp}(t)$, $q_{eh}(t)$, $q_u(t)$ – теплопроизводительности ТН, ТЭН и СК соответственно.

Принимая во внимание зависимость теплопроизводительности q_{wp} и электропотребления w_{wp} от коэффициента эффективности ТН ε , а также линейную взаимосвязь тепловой q_{eh} и электрической w_{eh} энергии ТЭН и циркуляционного насоса в системе активной циркуляции СК w_{eh1} , основная система уравнений запишется следующим образом:

$$\begin{cases} q_{dhw}(t) = q_{wp}(t) + q_{eh}(t) + Gc_p \left[\int_0^{\tau} t_d(\tau) dt - \int_0^{\tau} t_{main}(\tau) dt \right], \\ q_{wp}(t) = \varepsilon w_{wp}; \\ q_{eh}(t) = w_{eh}; \\ q_{eh1}(t) = w_{eh1}. \end{cases} \quad (2)$$

Для наглядности описания процессов и взаимосвязей элементов в моделируемой системе ГВС ее можно представить в виде структуры (рис. 1).

В системе основными генераторами тепловой энергии являются ТН «воздух – вода» и СК, резервным – ТЭН. Наружный воздух с температурой $T_{a,ext}$ проходит через теплообменник испарителя ТН и отдает тепло $Q'_{a,ext}$ хладагенту. Затрачивая электроэнергию W_{wp} ТН повышает за счет коэффициента эффективности ТН (COP) температуру хладагента и отдает теплоту Q_{wp} теплоносителю, циркулирующему в конденсаторе ТН. Тепловая энергия передается в первый теплообменник многофункционального бака ТН с температурой T_{wp} . Теплотери в ТН-моноблоке в связи с их незначительностью не учитываются.

Еще одним генератором тепловой энергии является СК. Вырабатываемая в СК тепловая энергия Q_u передается во второй теплообменник многофункционального бака ТН с температурой T_u . В системе СК присутствуют потери U_L .

Дублирующим (резервным) в системе служат ТЭН, встроенный в многофункциональный бак для нагрева воды в системе ГВС в периоды сильных морозов или в аварийных случаях.

Электроэнергия, потребляемая ТН, складывается из энергии, вырабатываемой компрессором W_{wp} и ТЭНом W_{eh} . Кроме того, небольшая энергия W_{eh1} потребляется циркуляционным насосом в системе СК.

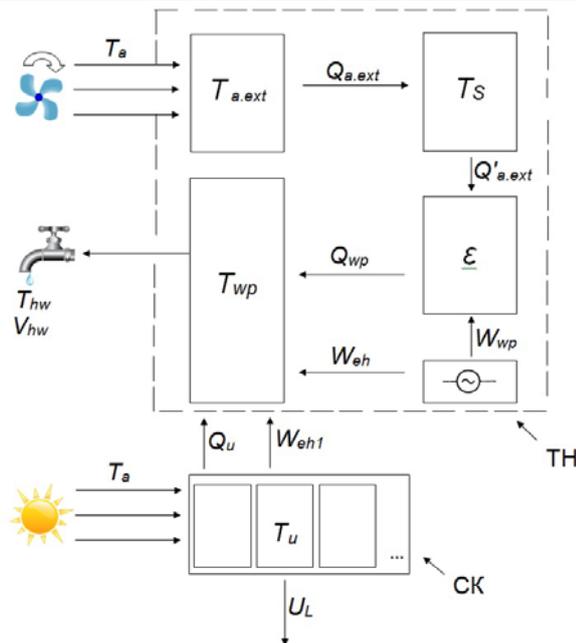


Рис. 1. Структурная схема модели комбинированной системы ГВС

В дальнейшем при решении задач оптимального выбора оборудования энергию, затрачиваемую циркуляционным насосом, и тепловые потери в системе учитывать не будем, так как все рассматриваемое оборудование работает в одинаковых условиях эксплуатации.

В схеме ССТ (рис. 2) предусмотрена система электронного контроля и управления всеми процессами на основе контроллера марки «SR1188». Внедрение усовершенствованной системы удаленного мониторинга позволило на новом уровне обеспечить оперативную обработку данных, полученных со всех компонентов системы ССТ в автоматическом режиме.



Рис. 2. Схема ССТ столовой ПензГТУ

При этом контролируемая информация сохраняется на карте памяти контроллера и затем передается в локальную сеть университета и в интернет. Такой подход позволяет эффективно контролировать в режиме онлайн работу ССТ столовой университета, анализировать работу солнечного коллектора в разные периоды эксплуатации, время работы теплового насоса, расход электроэнергии и горячей воды.

Увидеть реальные значения параметров ССТ столовой (рис. 3) в режиме онлайн можно по ссылке <http://www.penzgtu.ru/280/1220/2784/>.

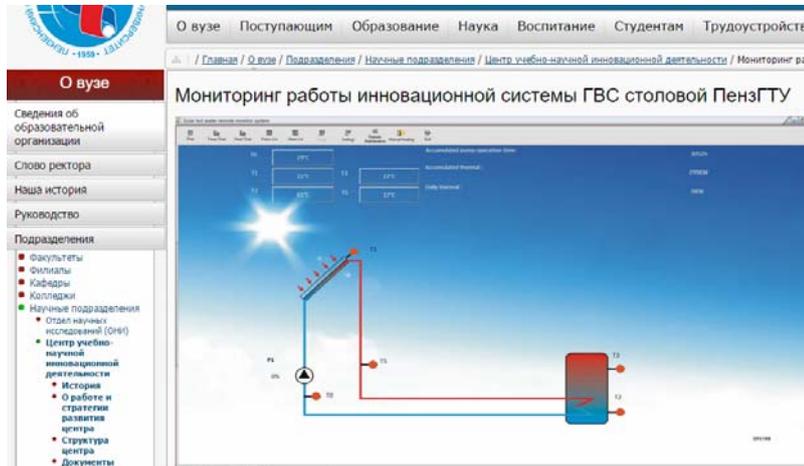


Рис.3. Типовая схема ССТ на сайте ПензГТУ

Обработка полученного банка данных по температурам нагрева и расходным параметрам ССТ столовой позволяет построить аппроксимирующие кривые изменения температуры T_0 , T_1 , T_2 и их модели регрессии с коэффициентами детерминации.

Для примера на рис. 4 представлены графики для 3 марта 2016 г. Рассматриваемый временной интервал разделен на два: «утро» – время с 5:00 до 10:59; «день» – время с 11:00 до 15:00, что соответствует режиму работы столовой. Для каждого графика изменения температур T_0 , T_1 , T_2 построены аппроксимирующие кривые, каждая из которых описывается двумя математическими моделями – для участка времени «утро» и участка времени «день» соответственно. Полученные коэффициенты детерминации R^2 указывают на сильную связь температуры (зависимой переменной y) от времени (независимой переменной t).

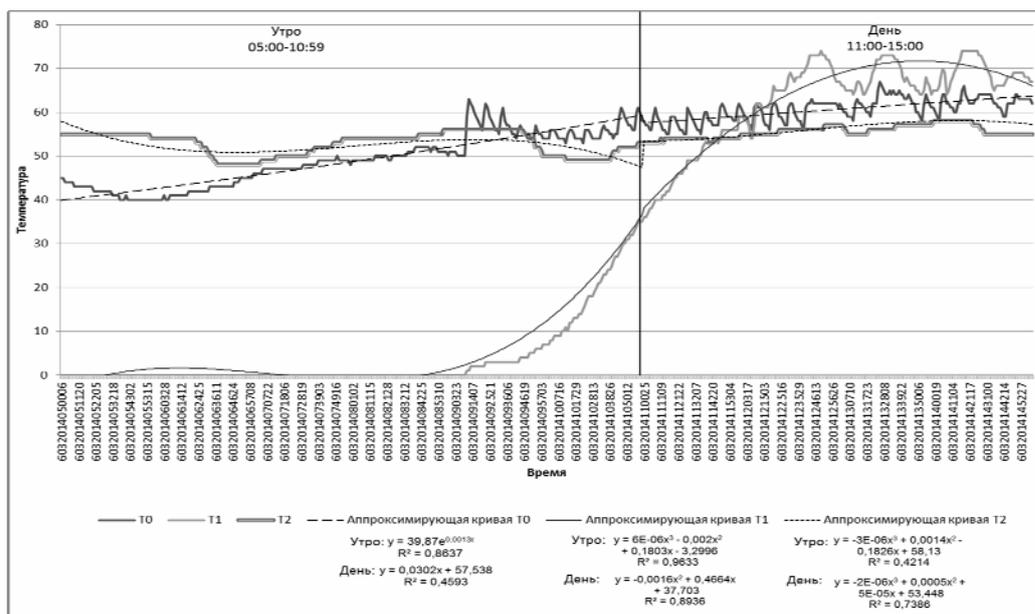


Рис.4. Графики изменения температур T_0 , T_1 , T_2 в зависимости от времени

Система автоматики, которая управляет работой системы, учитывает особенности, связанные с задействованием оборудования. В два летних месяца, когда столовая практически не работает, включается так называемый режим «отпуска». При этом режиме для исключения стагнации теплоносителя в солнечных коллекторах периодически включается циркуляционная система, но в обратном направлении для охлаждения абсорберов.

На дисплее контролера этот режим отображается картинкой с пальмой (рис. 5).

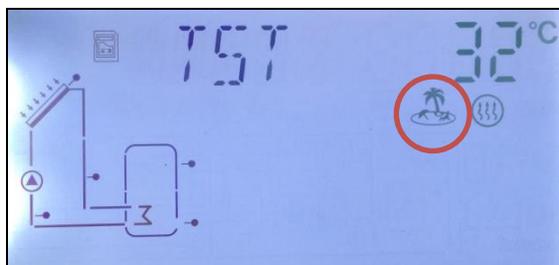


Рис.5. Типовая схема на дисплее контролера в режиме «отпуска»

Собранные ежемесячная и ежегодная базы данных активно используются в учебном процессе университета. На их основе разработано несколько лабораторных работ. Кроме того, полученные фактические данные позволили в режиме реального времени оценить выработку тепловой энергии каждого генератора тепла в ССТ столовой ПензГТУ. На рис. 6 в качестве примера изображена диаграмма распределения долей выработки тепловой энергии в ССТ столовой в течение года.

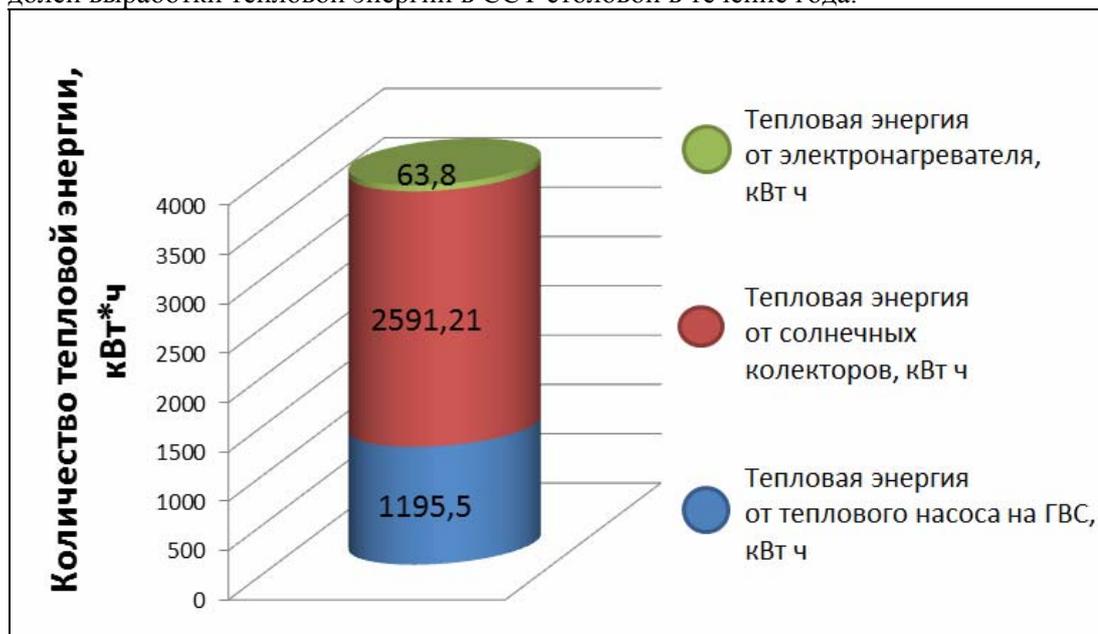


Рис.6. Распределение долей выработки тепловой энергии в ССТ столовой ПензГТУ

Анализ данных показал, что в период с марта по октябрь большая часть нагрузки (от 60 до 85 %) по нагреву воды приходится на солнечные коллекторы. Теплоноситель, находящийся в них, нагревает через теплообменник бака теплового насоса холодную воду, которая затем направляется в сеть ГВС. В период с ноября по февраль картина меняется 87 %: приходится на тепловой насос, 3 % – на трубчатый электронагреватель и 10 % – на солнечные коллекторы. Это объясняется климатическими особенностями средней полосы России. При этом резервный ТЭН включался кратковременно только при пиковых расходах воды в январе и феврале месяце при температуре воды на входе меньше плюс 7°C и температуре окружающего воздуха минус 25–28°C [3].

Таким образом, использование системы удаленного мониторинга позволило накопить и обработать статистические данные, которые легли в основу оценки работы ССТ для локального объекта. Такой подход, позволил разработать типовые схемы комбинированных ССТ, использующих несколько источников генерации тепла как традиционной, так и возобновляемой энергии.

Список литературы

1. BP Statistical Review of World Energy, June 2014. P. 6-41. – URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statisticalreview-of-world-energy-2014-full-report.pdf> (дата обращения: 01.11.2015)
2. Бутузов, В.А. Комбинированное теплоснабжение объектов с использованием солнечной энергии / В.А. Бутузов, Е.В. Брянцева, В.В. Бутузов // Промышленная энергетика. – 2006. – №12. – С. 39–41.
3. Силаков, В.Р. Результаты сравнительных экспериментальных исследований плоских солнечных коллекторов с различными абсорберами в составе солнечной водонагревательной установки / В.Р. Силаков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. – 2015. – №5(27). – С.82–88.

References

1. BP Statistical Review of World Energy, June 2014. P. 6-41. – URL: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statisticalreview-of-world-energy-2014-full-report.pdf> (reference date: 11/01/2015)
2. Butuzov, V.A. Combined heat objects using solar energy / V.A. Butuzov, E.V. Bryantseva, V.V. Butuzov // Industrial power. – 2006. – №12. – P. 39–41.
3. Silakov, V.R. Comparative results of experimental studies of flat solar collectors with different absorbers as part of the installation of solar water heating system / V.R. Silakov // XXI century: the results of the past and the problems this time. – 2015. – №5 (27). – P.82–88.

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

Королева Тамара Ивановна,
кандидат экономических наук, профессор
кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
E-mail: korolevatamara@gmail.ru

Степанов Сергей Алексеевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Физика и химия»

Родионов Юрий Владимирович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Эксплуатация автомобильного
транспорта»
E-mail: dekauto@pguas.ru

Ивашенко Никита Юрьевич,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
E-mail: dnib@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Koroleva Tamara Ivanovna,
Candidate of Economic Sciences,
Professor of the department «Heat, gas supply
and ventilation»
E-mail: korolevatamara@gmail.ru

Stepanov Sergei Alekseevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
Department «Physics and chemistry»

Rodionov Yuri Vladimirovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Road transport Operation»
E-mail: dekauto@pguas.ru

Ivashchenko Nikita Yurievich,
Postgraduate student of the department «Heat,
gas supply and ventilation»
E-mail: dnib@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.И. Королева, С.А.Степанов, Ю.В.Родионов, Н.Ю.Ивашенко

Рассмотрен вопрос эффективности использования солнечной энергии для отопления зданий в Пензенской области. Произведен расчет конструкции солнечного коллектора.

Ключевые слова: отопление, солнечная энергия, солнечный коллектор, эффективность

EFFICIENCY OF SOLAR COLLECTORS FOR HEATING OF BUILDINGS IN THE PENZA REGION

T. I. Koroleva, S.A.Stepanov, V.J.Rodionov, N.J. Ivashchenko

The efficiency of the use of solar energy for heating buildings in the Penza region is discussed. The design solar collector is calculated.

Keywords: heating, solar power, solar collector efficiency

Потребление энергии в России, как и во всем мире, неуклонно возрастает, и прежде всего она необходима для обеспечения инженерных систем зданий и сооружений. Известно, что на теплоснабжение зданий расходуется более одной трети всего добываемого в нашей стране органического топлива. Однако себестоимость топлива растет быстрыми темпами, обостряются экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды топливоиспользующими установками.

Преимущества использования солнечной энергии очевидны. Во-первых, исключается тепловое загрязнение среды, потому что не выделяется дополнительная тепловая энергия. Единственным источником тепловой энергии служит солнце. Во-вторых, при использовании солнечной энергии исключается возникновение побочных продуктов или каких-либо отходов.

Отношение к использованию солнца для нагрева воды и отопления в жилищно-коммунальном хозяйстве в России двойственное: с одной стороны, малая гелио-

энергетика считается чем-то экзотическим и малоэффективным, уделом ученых-изобретателей, а с другой стороны, интуитивное понимание экономической выгоды от такого способа использования дешевой энергии солнца способствует самостоятельному устройству примитивных гелиосистем, как правило в частном секторе.

Главным для экономической и функциональной привлекательности солнечного нагрева воды является высокий КПД, то есть способность собрать с ограниченной площади (например, одного из скатов кровли, одной из стен фасада) и передать с минимумом потерь достаточное количество энергии теплоносителю, достаточное для того, чтобы этот источник стал основным для горячего водоснабжения и отопления, а классические системы – резервными (аварийными). С появлением коммерчески доступных гелиоколлекторов на основе черненых медных пластин возможностей их применения стало больше. Такие коллекторы, с одной стороны, недороги и производятся массово из-за относительно легкой технологии чернения и простоты манипуляций с медью, а с другой стороны, из-за высокой теплопроводности меди позволяют передать теплоносителю почти всю собранную энергию.

Вопреки устоявшимся представлениям, для оценки возможности установки солнечных коллекторов для систем горячего водоснабжения и отопления требуется знание не только географической широты расположения объекта, но и метеорологических данных о сезонной и годовой интенсивности солнечного излучения с учетом фактора перекрытия солнечного потока метеоявлениями (облачности). Так, современные гелиосистемы на основе медных пластин доказывают свою эффективность и на широте Москвы, и на севере.

Применение солнечных коллекторов в качестве основного источника для отопления в зимний период в Центральной России (например, в Пензенской области) сдерживается малой продолжительностью светового дня, но и в этих условиях гелиосистема обеспечивает значительную экономию использования классических видов топлива, существенно дополняя баланс энергопотребления «бесплатными» джоулями. А вот в ряде регионов России с резко континентальным климатом солнечные системы могут выполнять роль и основного источника энергии для отопления жилья даже в зимний период. При условии, что они будут правильно спроектированы и обладать высоким КПД.

Теплоснабжающим элементом рассматриваемой системы отопления является установка с гелиоколлектором SintSolar CS, который располагается на крыше здания.

Солнечный коллектор SintSolar (рис. 1) состоит из теплоизолированного анодированного алюминиевого корпуса, внутри которого расположена медная поглощающая панель с высокоселективным поглощающим покрытием. Поглощающая панель состоит из медной ленты с высокоселективным покрытием и припаянных к ней медных теплоотводящих трубок, через которые прокачивается жидкий теплоноситель. Сверху поглощающая панель закрыта прозрачной для солнечного излучения изоляцией. Высокоселективное покрытие поглощающей панели, а также большая площадь контакта медных трубок с медной лентой обеспечивает высокую эффективность работы коллектора.



Рис. 1. Вид внутреннего устройства солнечного коллектора SintSolar

Под воздействием солнечного излучения (инфракрасной составляющей) в поглощающей панели происходит преобразование солнечной энергии в тепловую, в результате медная лента разогревается, а прокачиваемый через медные трубки жидкий теплоноситель отбирает полученное тепло.

Высокоселективное покрытие прозрачно для инфракрасного излучения, но является зеркалом для теплового, в связи с этим преобразованная энергия практически не излучается поглощающей панелью. Прозрачная изоляция и теплоизоляционный слой уменьшают потери тепловой энергии. Также была разработана опорная конструкция, позволяющая рационально разместить коллекторы, чтобы обеспечить удобство их обслуживания.

Расчёт солнечных коллекторов был произведён для декабря ввиду самой малой продолжительности дневного времени суток для широты г. Пензы. Расчёт производился с учётом коэффициентов эффективности солнечного коллектора и с учётом коэффициента отвода теплоты. По значениям полезного теплового потока для каждого интервала времени суток был определён среднесуточный КПД солнечного коллектора, который составил 22 %. По значению рассчитанных теплотерь здания и среднесуточного КПД было определено суммарное количество используемых нами коллекторов SintSolar CS, которое составило 146 шт.

Рассчитаем среднечасовой и среднесуточный КПД солнечного коллектора, установленного под углом 60° к горизонту в г. Пенза, если:

- в качестве теплоносителя используется Стугна-Н;
- трубы, по которым циркулирует теплоноситель и соединительная пластина, изготовлены из меди;
- длина солнечного коллектора – 2м;
- внутренний диаметр труб, по которым циркулирует теплоноситель, $D=0,01$ м;
- толщина стенки трубы $d= 0,0005$ м;
- толщина соединительной пластины $\Delta= 0,005$ м;
- расстояние между осями труб $l= 0,15$ м;
- суммарный коэффициент тепловых потерь на поверхности коллектора $\psi_c = 8$ Вт/м² К;
- коэффициент теплоотдачи к теплоносителю $\alpha_c = 1500$ Вт/ м² К;
- коэффициент пропускания покрытия солнечного коллектора $\tau_c = 0,9$;
- коэффициент поглощения поверхности соединительной пластины $\alpha_{cS} = 0,9$;
- температура теплоносителя на входе в коллектор $T_{fl} = 330$ К;
- удельная изобарная теплоёмкость теплоносителя $C_p = 4500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
- массовый расход воды в коллекторе $G= 0,02$ кг/с;
- доля диффузионного излучения от полного солнечного излучения $\kappa_d = 0,25$;
- широта г. Пенза $\varphi = 52^\circ$ с.ш.
- склонение Солнца $\delta_s = -23^\circ$;
- угловое смещение $h_s = 15^\circ$.

Отражательной составляющей излучения пренебречь.

Значения полной инсоляции температуры окружающей среды приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Полная инсоляция температуры окружающей среды

Время суток	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
H_i , Вт/м ²	12	80	192	320	460	474	395	287	141	32
T_{air}	270	280	283	286	290	288	288	288	284	280

Данный расчёт производился с использованием пакета Mathcad.
Определяем коэффициент наклона

$$R_b = \frac{\sin \delta_s \cdot \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta_s \cdot \cos(\varphi - \beta) \cdot \cosh_s}{\sin \varphi \cdot \sin \delta_s + \cos \varphi \cos \delta_s \cosh_s} = \frac{\sin(-23)\sin(52 - 60) + \cos(-23)\cos(52 - 60)\cos 15}{\sin 52 \sin(-23) + \cos 52 \cos(-23)\cos 15} = 2,113. \quad (1)$$

Полное почасовое излучение Солнца для каждого интервала времени приведено в табл. 2.

$$Jc = R_b \cdot B_h + D_h \frac{1 + \cos \beta}{2}; \quad (2)$$

$$Jc = R_b(1 - kd)H_i + k_d H_i \frac{1 + \cos \beta}{2}. \quad (3)$$

Т а б л и ц а 2

Полное почасовое излучение Солнца

Время	Jc	Время	Jc
7-8	21,3	12-13	840,22
8-9	141,9	13-14	700,2
9-10	340,34	14-15	508,7
10-11	567,3	15-16	249,9
11-12	815,4	16-17	56,7

Полное дневное излучение Солнца, Вт/м²:

$$\sum Jc = 4,242 \cdot 10^3. \quad (4)$$

Коэффициент эффективности ребра трубы солнечного коллектора:

$$\eta_f = \frac{th(\xi w)}{\xi w}; \quad (5)$$

$$\eta_f = \frac{th\left(\frac{\sqrt{\psi c} \left(\frac{l-D}{2}\right)}{\sqrt{\lambda \Delta} \left(\frac{l-D}{2}\right)}\right)}{\sqrt{\psi c} \left(\frac{l-D}{2}\right)}; \quad (6)$$

$$\eta_f = \frac{th\left(\frac{\sqrt{\frac{8}{390 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} \left(\frac{0,15 - 0,01}{2}\right)}{\sqrt{\frac{8}{390 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} \left(\frac{0,15 - 0,01}{2}\right)}\right)}{\sqrt{\frac{8}{390 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} \left(\frac{0,15 - 0,01}{2}\right)} = 0,938. \quad (7)$$

Коэффициент эффективности солнечного коллектора:

$$\eta_f = \frac{\alpha \pi D (D + 2w \eta_f)}{(D + 2w) [\alpha \pi D + \psi c (D + 2w \eta_f)]} \quad (8)$$

$$\eta_f = \frac{1500 \cdot 3,14 \cdot 0,01(0,01 + 2(0,15 - 0,01) / 2 \cdot 0,938)}{\left(0,01 + 2 \frac{0,15 - 0,01}{2}\right) \left[1500 \cdot 3,14 \cdot 0,01 + 8 \left(0,01 + 2 \frac{0,15 - 0,01}{2} \cdot 0,938\right)\right]} = 0,92.$$

Коэффициент отвода теплоты:

$$\chi_{отв} = \frac{Gc \cdot c_p}{\psi c} \left[1 - \exp\left(-\frac{\psi c \cdot \eta k}{Gc \cdot c_p}\right)\right]; \quad (9)$$

$$\chi_{отв} = \frac{0,02}{2 \cdot 1} \cdot 4500 \left[1 - \exp\left(-\frac{8 \cdot 0,92}{\frac{0,02}{2 \cdot 1} \cdot 4500}\right)\right] = 0,84. \quad (10)$$

Полезный тепловой поток для каждого интервала времени приведён в табл. 3.

$$q_e = \frac{\Phi c}{F c} = \chi_{отв} \left[\alpha_{sc} \tau_c J_{ci} - \psi_c (T_f - T_{air})\right]; \quad (11)$$

$$q_e = 0,84 [0,9 \cdot 0,9 \cdot J_{ci} - 8(330 - T_{air})].$$

Т а б л и ц а 3

Полезный тепловой поток для каждого интервала времени

Время	q_e
7-8	-390,2
8-9	-240,6
9-10	-84,6
10-11	90,6
11-12	287,2

Время	q_e
12-13	304,2
13-14	195,1
14-15	64,2
15-16	-139,6
16-17	-298,7

Отрицательные значения теплового потока, как не имеющие физического смысла, приравниваются к нулю:

$$q_{e7-8}=0; q_{e8-9}=0; q_{e9-10}=0; q_{e15-16}=0; q_{e16-17}=0.$$

Суммарные значения полезного теплового потока в течение светового дня, Вт/м²:

$$\sum q_{ei} = 941,306. \quad (12)$$

Среднечасовой КПД солнечного коллектора

$$\eta_{\eta} = \frac{q_e}{J_c}. \quad (13)$$

Результаты расчёта сведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Среднечасовой КПД солнечного коллектора

Время	q_e
7-8	0
8-9	0
9-10	0
10-11	0,16
11-12	0,352

Время	q_e
12-13	0,362
13-14	0,279
14-15	0,126
15-16	0
16-17	0

Среднесуточный КПД солнечного коллектора

$$\eta_{\text{ч}} = \frac{q_e}{J_c} = \frac{941,3}{4,242 \cdot 10^3} = 0,222. \quad (14)$$

Определяем необходимую площадь солнечных коллекторов по следующей формуле:

$$A_{\text{общ}} = \frac{Q}{\eta_{\text{ч}} \cdot q_{\text{в}}}; \quad (15)$$

$$A_{\text{общ}} = \frac{70000}{0,22 \cdot 941,3} = 298 \text{ м}^2,$$

где Q – суммарные теплопотери проектируемого здания; $\eta_{\text{ч}}$ – среднесуточный КПД солнечного коллектора; $q_{\text{в}}$ – суммарный тепловой поток.

Определяем необходимое количество солнечных коллекторов SintSolar CS, если площадь одного коллектора составляет $A=2,05 \text{ м}^2$:

$$n = \frac{A_{\text{общ}}}{A}; \quad (16)$$

$$n = \frac{298}{2,05} = 146 \text{ шт.}$$

Монтаж солнечных коллекторов производится на крыше здания на специально изготовленных для них опорах, которые позволят максимально эффективно использовать коллекторы SintSolar CS, а также будут обеспечивать удобство их обслуживания (рис. 2).

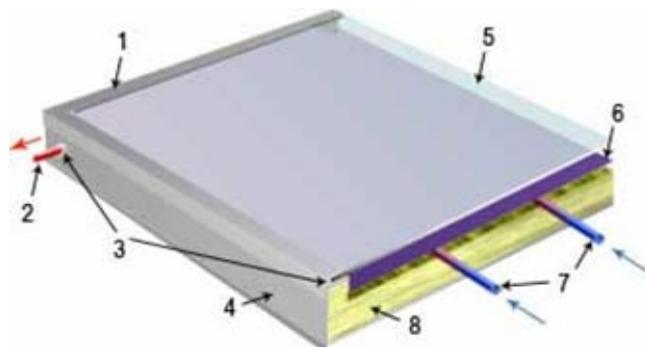


Рис. 2. Устройство солнечного коллектора SintSolar:

- 1 – съёмный прижимной уголок; 2 – подсоединительный патрубок; 3 – силиконовая уплотнительная резина; 4 – алюминиевый корпус; 5 – прозрачная изоляция (стекло с пониженным содержанием железа); 6 – медный абсорбер (телопоглощающая панель); 7 – параллельные медные трубки; 8 – теплоизоляция толщиной 50 мм

Выводы:

1. Расчеты показали, что использование солнечной энергии даже в климатических условиях Пензенского региона является эффективным способом экономии тепловой энергии для систем горячего водоснабжения и отопления.

2. Наиболее эффективными являются современные гелиосистемы, использующие в своих схемах солнечные коллекторы, внутри которых расположена медная поглощающая панель с высокоселективным поглощающим покрытием.

1. Попель, О.С. Об использовании солнечных водонагревателей в климатических условиях средней полосы России / О.С. Попель, С.Е. Фрид. – М.: ИВТАН, 2006.
2. Марченко, О.В. Оценка экономической и экологической эффективности солнечного теплоснабжения в России / О.В. Марченко, С.В. Соломин // Теплоэнергетика. – 2001. – №11. – С. 46–49.
3. Попель, О.С. Показатели солнечной водонагревательной установки в климатических условиях различных регионов России / О.С. Попель, С.Е. Фрид // Энергосбережение. – 2002. – №4.
4. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р.Р. Аvezов [и др.]; под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.

References

1. Popel, O.S. On the use of solar water heaters in the climatic conditions of Central Russia / O.S. Popiel, S.E. Freed. – M.: IVTAN, 2006.
2. Marchenko, O.V. Assessment of the economic and environmental efficiency of solar heat supply in Russia / O.V. Marchenko, S.V. Solomin // Power system. – 2001. – No. 11. – P.46–49.
3. Popel, O.S. Indicators of solar water-heating installation in the climatic conditions of the different regions of Russia / O.S. Popiel, S. E. Freed // Energy saving. – 2002. – №4.
4. Solar heat and refrigeration systems / R.R. Avezov [etc.]; ed. E.B. Sarnackov and C.A. Chistovich. – M.: Stroiizdat, 1990. – 328 p.

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Гарькина Ирина Александровна,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Математика и математическое
моделирование»
E-mail: pmi@pguas.ru

Вилкова Наталья Георгиевна,
доктор химических наук, профессор
кафедры «Физика и химия»

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механика»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

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

Grishin Boris Mikhailovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the department «Water supply,
sewerage and hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Garkina Irina Aleksandrovna,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
department «Mathematics and mathematical
modelling»
E-mail: pmi@pguas.ru

Vilkova Natalya Georgievna,
Doctor of Chemistry Sciences, Professor of the
department «Physics and chemistry»

Bikunova Marina Viktorovna,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the department «Water supply,
sewerage and hydraulic engineering»

Shein Alexander Ivanovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department «Mechanics»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИИ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Б.М. Гришин, И.А. Гарькина, Н.Г. Вилкова, М.В. Бикунова, А.И. Шеин

Рассмотрены конструкции вихревых смесительных устройств (ВСУ), а также технологические схемы коагуляционной очистки подземных и поверхностных вод, в которых данные устройства используются. Приведены результаты производственных испытаний, подтверждающие высокую эффективность работы ВСУ, позволяющих снизить энергозатраты и расходы реагентов при удалении из воды железа, мутности, цветности и окисляемости.

Ключевые слова: природные воды, коагуляция, вихревые смесительные устройства, перемешивание, обезжелезивание, отстаивание, фильтрация

TECHNOLOGIES OF NATURAL WATER TREATMENT WITH THE USE OF VORTEX MIXING DEVICES

B.M. Grishin, I.A. Garkina, N.G. Vilkova, M.V. Bikunova, A.I. Shein

The structures of vortex mixing devices (VMD) and technological schemes of underground and surface nature water coagulant purification with application of VMD are considered. The results of industrial tests confirm high efficiency of VMD operation, which allow to reduce energy and reagent expenditures for iron, turbidity, color and oxidizability removal from water.

Keywords: natural water, coagulation, agitation, iron removal, settling, filtration, vortex mixing devices

В технологиях коагуляционной обработки подземных и поверхностных природных вод успешно применяются вихревые смесительные устройства (ВСУ), позволяющие реализовывать одновременно несколько безреагентных способов интенсификации процессов коагуляции примесей.

1. Удаление железа из подземных вод

Одной из наиболее трудных проблем при обезжелезивании воды является удаление из нее органических форм железа. Однако до последнего времени вопросам глубокого удаления железоорганических комплексов в процессах подготовки подземных вод, используемых для технических целей, и в частности для питания промышленных котельных, уделялось недостаточное внимание, что диктует необходимость применения новых технологических и конструкторских решений в этой области.

Одним из таких решений является использование технологии, где в качестве аппарата для смешения и активации действия реагентов при обезжелезивании воды применяется электрогидродинамическое устройство (ЭГДУ), обеспечивающее высокую эффективность процесса очистки воды [1], которая не может быть достигнута при использовании традиционных технологий с коагулированием в типовых смесителях и фильтровании.

Например, обработка подземной воды одной из скважин Пензенской области, имеющей в своем составе железоорганические соединения в концентрациях 4,8-6,0 мг/л, алюмосодержащими коагулянтами с дозами более 30 мг/л и её последующая очистка фильтрованием не позволили получить остаточные концентрации железа ниже 0,2 мг/л, требуемых для технических нужд котельных или теплоэлектроцентралей (ТЭЦ).

Для интенсификации процесса коагуляционной обработки подземных вод, содержащих органические формы железа, была предложена конструкция ЭГДУ, схема которого показана на рис.1.

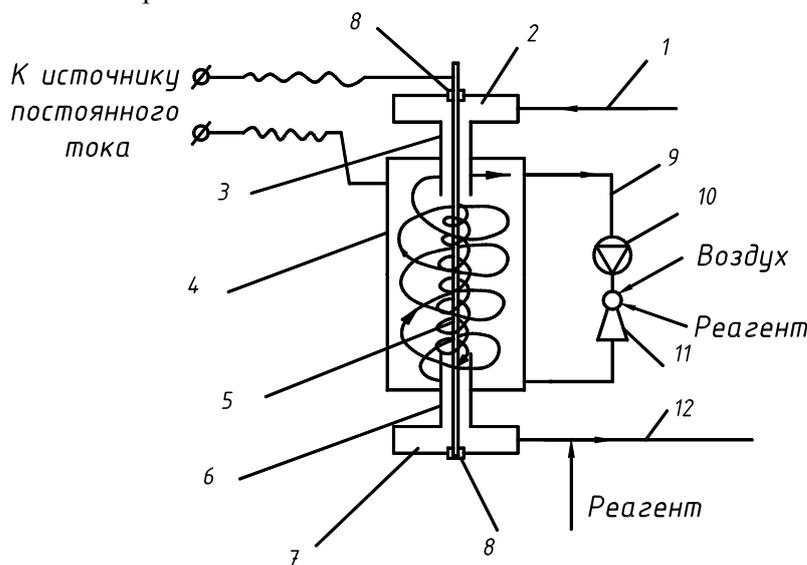


Рис.1. Схема ЭГДУ с рециркуляцией водовоздушной смеси:

- 1– подача исходной воды; 2– входная камера; 3 – ствол входной камеры; 4 – корпус;
5– стержень; 6 – ствол выходной камеры; 7 – выходная камера; 8– диэлектрическая вставка;
9 – рециркуляционная линия; 10 – центробежный насос; 11 – эжектор; 12 – отвод обработанной воды на очистку

За счет тангенциальной подачи воды в камере входа 2 ЭГДУ создается вихревое движение потока. При выходе потока из камеры 2 в соосно присоединенный к ней ствол 3 угловая скорость движения воды увеличивается.

За счет создания высокой угловой скорости вращения на выходе из ствола 3 в корпусе ЭГДУ 4 (см. рис.1) создается устойчивый внутренний нисходящий вихревой

поток, который поддерживается за счет тангенциального отвода обработанной воды из выходной камеры 7.

В корпусе ЭГДУ создается также еще один – внешний восходящий – вихревой поток водовоздушной смеси за счет тангенциально присоединенных к корпусу всасывающего и нагнетательного патрубков циркуляционного насоса 10.

Забор воздуха осуществляется через воздушный патрубок эжектора 11, туда же дозируется раствор коагулянта. На границе внутреннего и внешнего вихрей происходит интенсивный массообмен и дробление пузырьков воздуха под действием турбулентных пульсаций и центробежных сил инерции.

Так как центральный стержень 5 и корпус ЭГДУ 4 являются электродами, присоединенными к источнику постоянного тока, то на взвешенные частицы и пузырьки воздуха оказываются следующие виды воздействия, обусловленные наличием электрического поля: поляризационное – возникающее за счет действия сил Лоренца; электрохимическое – возникающее при попадании пузырьков и твердых частиц в приэлектродные зоны с резко изменяющимися величинами pH и Eh; концентрационное – происходящее при попадании частиц в приэлектродные зоны с локальным градиентом концентраций заряженных частиц, особенно в зоне центрального стержня, имеющего максимальную плотность тока. Все эти воздействия способствуют интенсификации образования зародышей твердой фазы в начальные моменты коагуляции и в конечном счете уменьшению дозы коагулянта [2-3]. Выходящая из ЭГДУ водовоздушная смесь дополнительно обрабатывается флокулянтам.

Производственные испытания технологии реагентного обезжелезивания подземной воды с использованием ЭГДУ проводились на участке подготовки добавочной воды для паровых котлов ТЭЦ-3 г. Кузнецка Пензенской области. В состав участка подготовки добавочной воды ($Q_{\text{час}}=50 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{\text{сут}}=1000 \text{ м}^3/\text{сут}$) для паровых котлов входили дегазатор с деревянной хордовой насадкой, контактный резервуар, осветлительные фильтры с песчаной загрузкой, промежуточный резервуар, а также Na-катионитовые фильтры первой и второй ступеней.

Опыт эксплуатации очистных сооружений участка подготовки добавочной воды ТЭЦ-3 показал, что безреагентная очистка подземной воды методом аэрации с последующим фильтрованием через слой песчаной загрузки являлась низкоэффективным методом, так как эффект удаления соединений железа составлял не более 50 %. Повышенные концентрации органического железа негативно сказывались на работе Na-катионитовых фильтров, вызывая зарастание загрузки и уменьшение ее обменной способности по ионам жесткости, содержание которых в исходной воде составляло 1,3 – 1,4 мг-экв /л.

В результате проведения реконструкции в схеме очистки воды вместо дегазатора было установлено электрогидродинамическое устройство (ЭГДУ), выполняющее роль смесителя и узла активации процессов коагулирования железоорганических соединений и взвешенных веществ при введении реагентов (рис.2). Электрическое поле в ЭГДУ создавалось за счет использования источника постоянного тока. В качестве коагулянта применялся полиоксихлорид алюминия (ПОХА) с дозой $D_k=17,5 \text{ мг/л}$, а в качестве флокулянта – полиакрил амид (ПАА) с дозой $D_p=0,2 \text{ мг/л}$.

При реконструкции сооружений была произведена замена песчаной загрузки в осветлительных фильтрах на загрузку из вспененного полистирола с размером гранул 2,5-5 мм для двух контактных фильтров и 0,5-1,5 мм для осветлительных фильтров с высотой загрузки 1,5 м. Скорость фильтрования при расчетном режиме составляла 5-5,2 м/ч.

Данные, характеризующие качество очистки подземных вод до и после реконструкции очистных сооружений участка водоподготовки для паровых котлов ТЭЦ-3 г. Кузнецка Пензенской области, представлены в таблице.

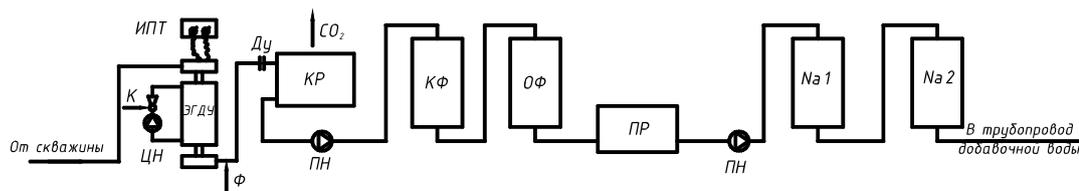


Рис.2. Технологическая схема подготовки добавочной воды из подземного источника для ТЭЦ с использованием ЭГДУ:

КР – контактный резервуар; КФ – контактный фильтр; ОФ – осветлительный фильтр; ПР – промежуточный резервуар; Na1 и Na2 – натрий-катионитовые фильтры первой и второй ступеней; ПН – промежуточный насос; ЦН – циркуляционный насос; ИПТ – источник постоянного тока; К,Ф –подвод коагулянта и флокулянта; ДУ – дросселирующее устройство

Результаты внедрения технологии реагентного обезжелезивания подземной воды с использованием ЭГДУ

Режим работы участка водоподготовки	Показатели				
	Концентрация железа в исходной воде, мг/л	Концентрация железа после осветлительного фильтра, мг/л	Эффект очистки, %	Продолжительность фильтроцикла Na-катионитовых фильтров 1 ступени, ч	Продолжительность фильтроцикла Na-катионитовых фильтров 2 ступени, ч
До реконструкции	4,8-5,7	2,7-2,9	44-49	8	120
После реконструкции с использованием ЭГДУ при $D_k=17,5$ мг/л и $D_p=0,2$ мг/л	4,9-5,2	0,15-0,17	96,5-97,1	24	192

Основные технические характеристики ЭГДУ, используемого для обработки подземной воды для технологических нужд ТЭЦ-3, были следующие: производительность – 50-60 м³/ч; диаметр входного патрубка – 125 мм; диаметр входной камеры – 500 мм; диаметр центрального стержня – 38 мм; диаметр корпуса – 350 мм; высота корпуса – 1500 мм; подводимое (рабочее) напряжение – 48 В; сила тока – 3,8-4,3 А; плотность тока на катоде (центральном стержне) – 15,8-17,9 А/м²; плотность тока на аноде – 1,7-2,0 А/м²; удельный расход электричества – (6,0-6,4)·10⁻² А·ч/м³; время пребывания воды в ЭГДУ – 12-15 с.

Длительность фильтроцикла осветлительных фильтров с пенополистирольной загрузкой в среднем составила 12 ч, контактных фильтров – 36 ч. После проведенной реконструкции значительно увеличилась продолжительность фильтроцикла Na-катионитовых фильтров 1 ступени (с 8 до 20-24 ч) и 2 ступени (с 120 до 192 ч), что привело к сокращениям расходов электроэнергии и реагентов на регенерацию.

Годовой экономический эффект от внедрения предложенной технологии реагентного обезжелезивания подземных вод с использованием ЭГДУ составил более 800 тысяч рублей (в ценах 2015 г.).

2. Коагуляционная обработка природных поверхностных вод

Важной задачей при использовании минеральных коагулянтов является снижение их доз в процессе обработки воды, которое может быть достигнуто применением различных методов интенсификации коагуляции. К числу наиболее перспективных относятся безреагентные методы концентрированного коагулирования и аэрации, не

требующие, как правило, больших эксплуатационных затрат и сложного оборудования.

На основании теоретических и экспериментальных исследований авторами предложен реагентосберегающий способ высокоградиентного перемешивания вспомогательного потока воды с растворами коагулянтов и сжатым воздухом при концентрированном коагулировании [4-6]. Схема обработки воды по данному способу показана на рис. 3.

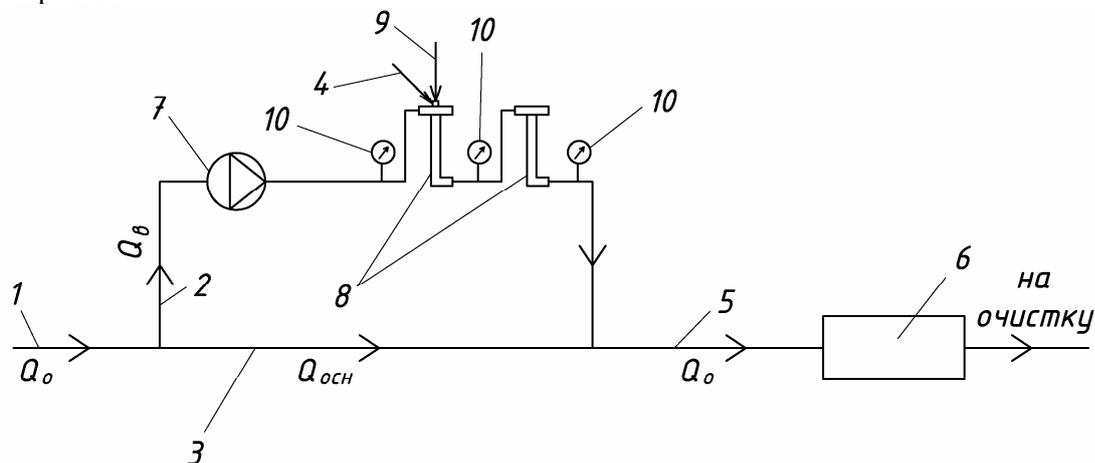


Рис. 3. Схема обработки воды по способу высокоградиентного перемешивания при концентрированном коагулировании:

- 1 – подача воды; 2 – отвод части воды на реагентную обработку (вспомогательный поток); 3 – основной поток; 4 – подача коагулянта; 5 – отвод общего потока; 6 – типовой смеситель или камера хлопьеобразования; 7 – центробежный повысительный насос; 8 – вихревые смесительные устройства; 9 – подача сжатого воздуха; 10 – манометры

Вспомогательный поток очищаемой воды (с расходом Q_v) подается во всасывающий патрубок повысительного центробежного насоса 7 и с требуемым давлением пропускается через вихревые смесительные устройства 8. Размеры ВСУ подбираются таким образом, чтобы перепад давлений Δp_d перед и за каждым устройством при заданном расходе Q_v соответствовал расчетному перепаду Δp , позволяющему получать высокие значения градиента скорости в определенных пределах. Раствор коагулянта и сжатый воздух с заданным расходом подаются непосредственно в воздушный патрубок первого смесительного устройства.

Конструкция ВСУ для смешения коагулянта и воздуха с водой показана на рис. 4.

За счёт использования диафрагмы 5 кинетическая энергия вращательного движения потока водовоздушной смеси на входе в ствол 1 резко увеличивается. При попадании потока на радиальные перегородки 7 в кольцевом пространстве между стволом 1 и телом обтекания 6 возникает сильная турбулизация, которая способствует быстрому перемешиванию коагулянта с водой.

Таким образом, за счет суммарного воздействия нескольких факторов (быстрого и полного смешения коагулянта с водой, создания высокодисперсной водовоздушной смеси, концентрированного коагулирования) в предлагаемом смесительном узле создаются благоприятные условия для осуществления процесса коагуляции примесей и последующей эффективной очистки природных вод от мутности, цветности и окисляемости на сооружениях различного типа.

Производственные испытания технологии концентрированного коагулирования с высокоградиентным перемешиванием водовоздушной смеси осуществлялись на 5-м блоке ВОС пл. «Подгорная» г. Пензы, имеющем фактическую производительность $30000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ($1250 \text{ м}^3/\text{ч}$).

В состав 5-го блока ВОС пл. «Подгорная» входили перегородчатый смеситель, пять горизонтальных отстойников со встроенными камерами хлопьеобразования и три скорых фильтра. На ВОС поступала смешанная исходная вода от насосных станций НС «Водозабор Терновский» (р. Сура) и НС «Сурское водохранилище». Реагентная

обработка включала в себя двухступенчатое хлорирование, коагуляцию сернокислым алюминием (СА) и флокуляцию ПАА.

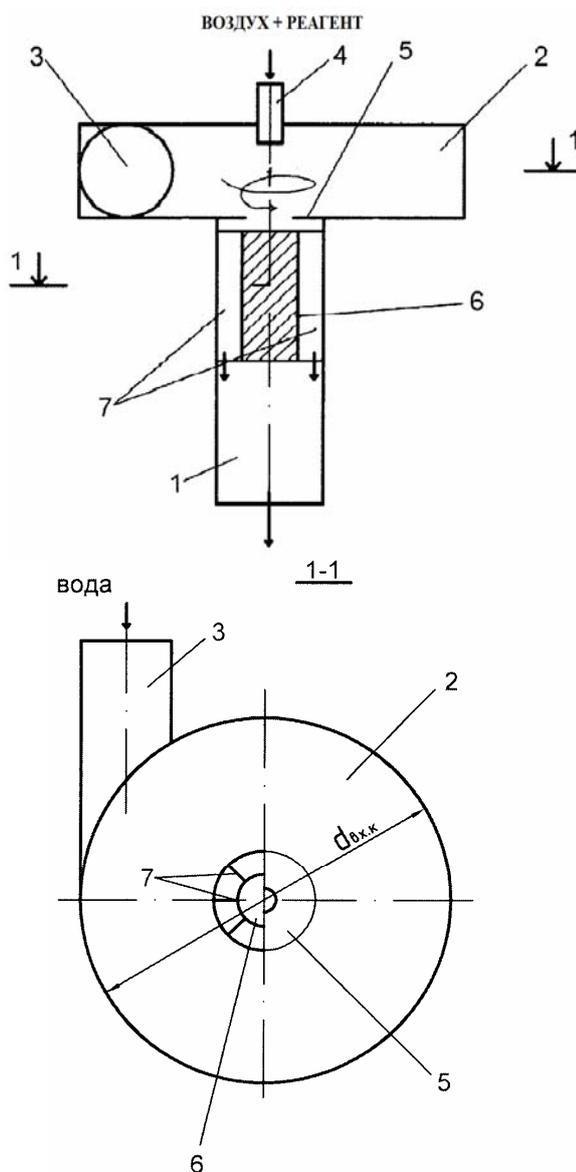


Рис. 4. Конструкция ВСУ для смешения коагулянта с водой [7]:

1 – трубчатый ствол; 2 – входная камера; 3 – патрубок подачи воды; 4 – патрубок подачи сжатого воздуха; 5 – диафрагма; 6 – тело обтекания; 7 – радиальные перегородки

При эксплуатации 5-го блока ВОС «Подгорная» во время паводка наблюдались повышенные значения мутности в пробах хозяйственно-питьевой воды, отобранной из РЧВ (до 1,5 мг/л), а также значительные концентрации остаточного алюминия (до 0,45 мг/л) вследствие использования высоких доз СА (до 80 мг/л и выше).

При проведении реконструкции данного блока к трубопроводу $d_v 500$, подающему исходную воду к смесителю, через отводящий трубопровод диаметром $d_v 125$ мм были подключены параллельно два центробежных насоса марки К 80-50-200 производительностью каждый до 40 м³/ч и напором до 50 м. Один насос при самостоятельной работе подавал 3 % от общего расхода воды Q_0 , поступающей в смеситель, при параллельной работе оба насоса перекачивали вспомогательный поток воды с расходом $Q_в$, составляющим до 5 % от Q_0 . Смешение вспомогательного потока воды с коагулянтами СА и полиоксихлоридом алюминия «АКВА-АУРАТ™ 30», а также воздухом производилось в вихревых смесителях диаметром $d_v 50$. Подача растворов коагулянтов в смеситель осуществлялась насосами-дозаторами из растворяющих баков, а

сжатый воздух поступал из отделения реагентного хозяйства с расходом $Q_{св}=(10-12\%)Q_{в}$. В период паводка на 5-м блоке использовались коагулянты СА и «АКВА-АУРАТ™ 30», в остальное время – только СА. Данные по качеству очищенной хозяйственно-питьевой воды, полученные на 5-м блоке ВОС пл. «Подгорная», где проводились испытания новой технологии, сравнивались с данными анализов хозяйственно-питьевой воды, прошедшей очистку на 4-м блоке (производительностью 50 тыс. м³/сут), где использовалась традиционная технология реагентной обработки всего объема очищаемой воды.

Анализ результатов промышленных испытаний показал, что внедрение новой технологии концентрированного коагулирования с применением ВСУ позволило в период паводка сократить дозы СА на 25-30 % (до 55-60 мг/л), по сравнению с традиционным методом обработки всего объема воды в типовых смесителях при сохранении высокого эффекта удаления примесей. По данным анализов, значения мутности в очищенной воде составили 0,9-1,2 мг/л, цветности – 14-16 град., окисляемости – 4,2-4,5 мгО₂/л, концентрация остаточного алюминия не превышала 0,3 мг/л.

Расчётный годовой экономический эффект от внедрения новой технологии составил более 700 тыс. руб. (в ценах 2015 года).

Выводы

1. Внедрение вихревых смесительных устройств в технологии удаления из подземной воды органического железа способствует увеличению продолжительности рабочего цикла Na-катионитовых фильтров доочистки в 1,6-3 раза и сокращению расходов электроэнергии на их регенерацию.

2. Использование вихревых смесительных устройств в процессе двухступенчатой реагентной очистки воды поверхностных источников позволяет существенно (на 25-30 %) сократить расходы реагентов при сохранении высокого качества очищенной воды.

Список литературы

1. Теоретическое обоснование использования электрогидродинамических устройств для обработки подземных вод, содержащих органические формы железа / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Т.В. Малютина, А.А. Зебрев // Альманах современной науки и образования. – 2014. – № 7 (85). – С. 58–61.

2. Использование электрогидродинамических устройств для реагентной обработки подземных вод / Б.М. Гришин [и др.] // Региональная архитектура и строительства. – 2012. – №2. – С. 121–127.

3. Крымкин, А.В. Очистка подземных вод от трудноокисляемых форм железа / А.В. Крымкин, Б.М. Гришин // Региональная архитектура и строительства. – 2009. – №1. – С. 113.

4. Совершенствование методов коагуляционной обработки природных вод / Б.М. Гришин [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1. – С. 140–149.

5. Исследование реагентосберегающего способа коагуляционной очистки воды поверхностного источника / Б.М.Гришин [и др.] // Известия вузов. Строительство. – 2010. – №1. – С. 68–74.

6. Экспериментальные исследования очистки воды Сурского водохранилища с использованием алюмосодержащих коагулянтов / Б.М. Гришин [и др.] // Водоочистка. – 2010. – №7. – С. 23–26.

7. Смеситель: патент на изобретение RU 2459656. / Б.М. Гришин, М.А. Сафронov; опубл. 27.08.2012. Бюл. №24.

References

1. Theoretical basis the use of electrical hydrodynamic devices for contained organic iron forms underground water treatment / B.M. Grishin, M.V. Bikunova, T.V. Malyutina, A.A. Zebrev // Almanac of contemporary science ad education. – 2014. – № 7 (85). – P. 58–61.

2. Use of electrical hydrodynamic devices for underground water reagent treatment / B.M. Grishin [etc.] // Regional architecture and engineering – 2012.– №2. – P. 121–127.
3. Krymkin, A.V. Underground water purification from hard oxidized forms of iron / A.V. Krymkin, B.M. Grishin // Regional architecture and engineering. – 2009. – №1. – P. 113.
4. Perfection of nature water coagulate treatment methods / B.M. Grishin [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2011. – №1. – P. 140–149.
5. Investigation of surface water coagulant purification by reagent saving method / B.M. Grishin [etc.] // Izvestiya vuzov. Construction. – 2010. – №1. – P. 68–74.
6. Experimental investigations of Sura storage water purification with use aluminium contained coagulants / B.M. Grishin[etc.] // Water purification. – 2010. – №7. –p. 23-26.
7. Mixer: Pat. RU 2459656. / B.M. Grishin, M.A. Safronov; Public. 27.08.2012 Bul. № 24.

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

Россия, 410054, Саратов,
ул. Политехническая, 77

Осипова Наталия Николаевна,
доктор технических наук,
доцент, заведующая кафедрой
«Теплогасоснабжение, вентиляция,
водообеспечение и прикладная
газодинамика»
E-mail: osnat75@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Грейсх Григорий Исаевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Физика и химия»
Пензенский государственный университет
Россия, 440000, г. Пенза, ул. Красная, д.40

Салмин Владимир Васильевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Транспортные
машины»

*Saratov state technical University named after
Y. A. Gagarin*

Russia, 410054, Saratov, 77, Polytechnic St.

Osipova Natalya Nikolaevna,
Doctor of Sciences, Associate Professor,
Head of the department «Heat and gas
supply, ventilation, water supply and applied
fluid dynamics»
E-mail: osnat75@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Grishin Boris Mikhailovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the department «Water supply,
sewerage and hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Greysoukh Grigoriy Isaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Physics and Chemistry»
Penza State University

Russia, 440000, Penza, 40, Krasnaya St.

Salmin Vladimir Vasilyevich,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the department «Transport
Machines»

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОЙ СТРУКТУРЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ

Н.Н. Осипова, Б.М. Гришин, Г.И. Грейсх, В.В. Салмин

Представлены результаты исследований по определению параметров газораспределительных систем с учетом неравномерной структуры потребления, различных способов реализации газа с газонаполнительных станций и условий транспортировки. Сделана оценка расчётных затрат на газоснабжение потребителей с использованием баллонов и групповых резервуарных установок.

Ключевые слова: газораспределительная система, сжиженный углеводородный газ, неравномерная структура потребления, параметры систем газоснабжения

BASIS FOR THE PARAMETERS OF GAS DISTRIBUTION SYSTEMS AT UNEVEN STRUCTURE OF CONSUMPTION

N. N. Osipova, B.M. Grishin, G.I. Greysoukh, V.V. Salmin

The results of studies of the characteristics of gas distribution systems, taking into account an uneven pattern of consumption, different ways of distribution gas from filling stations and transport conditions are shown. Evaluation of estimated costs for consumers gas supply with the use of gas cylinders and group reservoir plants is done.

Keywords: gas distribution system, liquefied petroleum gas, a non-uniform pattern of consumption, parameters of gas supply systems

Базируясь на принципах системного анализа [1, 2], в общем случае систему газоснабжения сжиженным газом (СГСГ) на наиболее высоком иерархическом уровне (по комплексу: завод сжиженного газа – потребитель) можно рассматривать как совокупность подсистем более низкого иерархического уровня, объединенных общей целью обеспечения потребителей газовым топливом.

Современная структура снабжения населения сжиженным углеводородным газом (СУГ) формирует следующую иерархию функционирования систем газоснабжения:

- системы газоснабжения федерального уровня (СГФУ) по комплексу: нефтегазоперерабатывающие заводы – газонаполнительные станции сжиженного газа (ГНС);

- системы газоснабжения регионального уровня (СГРУ) по комплексу ГНС – населенные пункты;

- муниципальные (поселковые) системы газоснабжения (ПСГ) по комплексу: резервуарные (баллонные) установки – потребитель.

Оптимизация системы газоснабжения в целом сводится к минимизации затрат на производство, доставку и использование газового топлива по комплексу: заводы СУГ – потребитель газа:

$$Z_{\text{СГСГ}} = f(Z_{\text{СГФУ}}; Z_{\text{СГРУ}}; Z_{\text{ПСГ}}) = \min. \quad (1)$$

Функционал (1) реализуется при соблюдении общего баланса производства, распределения и использования газового топлива. Заданные и управляющие параметры, формирующие соответствующие затраты по системам в исходном функционале (1), принимаются с учетом ограничений. Указанные ограничения формируются в виде равенств, неравенств, дополнительных уравнений, связывающих управляющие параметры и т.д. Конкретное содержание ограничений выявляется на стадии детальной проработки математических моделей, раскрывающих механизм функционирования соответствующих подсистем газоснабжения.

В качестве внешней связи в экономико-математической модели используются затраты в добычу углеводородного сырья и в его транспортировку с промыслов на нефтеперерабатывающие заводы (цена исходного сырья).

Минимизация функционала (1) в централизованном порядке затруднительна ввиду большого объема и разнообразия технологических и экономических связей. В связи с этим для решения конкретных задач оптимизационного характера воспользуемся принципом декомпозиции [3], который широко применяется в практике технико-экономического анализа сложных энергетических систем.

Оптимальное функционирование систем снабжения сжиженным газом федерального уровня требует решения целого ряда взаимосвязанных задач общегосударственного масштаба – как то общие объемы производства СУГ и его распределения по отраслям экономики, мощности нефтегазоперерабатывающих заводов и их размещение на территории РФ, объемы СУГ, выделяемые на коммунально-бытовые нужды населения, организация транспортных потоков и т.д. Указанные задачи решаются на стадии государственного планирования и выходят за рамки данного научного исследования.

Анализ литературных источников [4, 5], а также статистических материалов газовых организаций показывает, что в общей структуре затрат в систему газоснабжения сжиженным газом свыше 70 % занимают затраты региональных газораспределительных систем и сопряженных с ними элементов в поселковые системы газоснабжения.

Территориальной особенностью Российской Федерации является неравномерность размещения населенных пунктов, количество проживающего в них населения и соответственно режимов и объемов потребляемого газа. Традиционно территориями с высокой плотностью населения (высоким потреблением газа) являются центральная и южная части РФ, территориями с низкой плотностью – районы Сибири и Крайнего Севера. Данное обстоятельство обуславливает специфику формирования структуры региональных и поселковых систем газоснабжения.

Исследование существующих систем газоснабжения [6, 7, 8] позволило определить значимые факторы, формирующие параметры систем газоснабжения: показатель равномерности потребления сжиженного углеводородного газа, способ реализации газа потребителям (через баллонные или резервуарные установки), характеристика автомобильных дорог и транспорта, используемого для доставки.

На основании вышеизложенного затраты в системы газоснабжения по комплексу ГНС – потребитель могут быть представлены в виде выражения

$$Z_{\text{СГРУ}} + Z_{\text{ПСГ}} = \frac{\beta^{0,2}}{\pi^{0,8} q^{0,8} R_{\text{ГНС}}^{1,6}} \left(A_p + A_b \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right)^{0,2} \right) + (0,8b_p R_{\text{ГНС}} + a_p + Z_{\text{ПСГР}}) \beta + (0,8b_b R_{\text{ГНС}} + a_b + Z_{\text{ПСГБ}})(1-\beta), \quad (2)$$

где β – коэффициент реализации газа через резервуарные установки в общем балансе отпуска СУГ с ГНС; q – показатель равномерности потребления газа на территории действия ГНС, т/(год·км²); $R_{\text{ГНС}}$ – радиус действия ГНС, км; A_p , A_b – удельные показатели затрат по ГНС при осуществлении реализации газа потребителю через резервуарные и баллонные установки, руб./т [9]; a_p , a_b , b_p , b_b – стоимостные параметры, принимаемые в зависимости от способа реализации СУГ, вида дорожного покрытия путей доставки СУГ и автотранспорта (автоцистерны или баллоновозы) [9]; $Z_{\text{ПСГР}}$ – затраты в поселковые системы газоснабжения по комплексу: резервуарные установки – потребитель; $Z_{\text{ПСГБ}}$ – затраты в поселковые системы газоснабжения по комплексу: баллонные установки – потребитель.

Оптимальной структуре газораспределительной системы будет соответствовать минимум затрат в формируемую систему газоснабжения

$$Z_{\text{СГРУ}} + Z_{\text{ПСГ}} = \min. \quad (3)$$

Совместный анализ выражений (2), (3) показывает, что минимальным затратам в распределительную систему соответствуют оптимальные значения радиуса доставки СУГ с газонаполнительной станции $R_{\text{опт}}$, км, и объемов газа, реализуемого потребителю $N_{\text{опт}}$, тыс.т/год.

Для определения оптимальных параметров систем газоснабжения были произведены соответствующие расчеты. В качестве исходных данных приняты:

– показатель равномерности потребления газа: $q= 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0$ т/(год·км²) (меньшие показатели характерны для северных районов страны и Сибири, большие – для средней полосы РФ);

– реализация газа потребителям осуществляется по вариантам: баллонное газоснабжение (использование газа только на цели пищевого приготовления ($\beta=0$)), газоснабжение через групповые резервуарные установки (использование газа на пищевое приготовление, отопление зданий и горячее водоснабжение ($\beta=1$)), газоснабжение 50 % потребителей осуществляется через баллоны и 50 % – через групповые резервуарные установки ($\beta=0,5$);

– для транспортировки газа приняты транспортные средства: баллоновозы с числом транспортируемых баллонов вместимостью 50 л – 40 шт.; автоцистерны с полезной вместимостью 30 м³;

– дорожная сеть рассматривается преимущественно с асфальтобетонным покрытием 85 % пути. Непосредственный подъезд к сельским населенным пунктам осуществляется по грунтовым и покрытым щебнем автодорогам – 15 % пути;

– поселковые системы газоснабжения приняты по результатам исследований [10] с учетом их оптимальной централизации при снабжении СУГ от групповых резервуарных установок.

Результаты расчетов представлены в таблице.

К определению оптимальных параметров газораспределительных систем

Показатель равномерности потребления газа q , т/(год·км ²)	Способ реализации СУГ потребителям								
	через баллоны ($\beta=0$)			через групповые резервуарные установки ($\beta=1$)			через групповые резервуарные установки и баллоны ($\beta=0,5$)		
	R_{opt} , км	N_{opt} , тыс. т/год	$Z_{сгг}+Z_{псг}$, тыс. руб./т	R_{opt} , км	N_{opt} , тыс. т/год	$Z_{сгг}+Z_{псг}$, тыс. руб./т	R_{opt} , км	N_{opt} , тыс. т/год	$Z_{сгг}+Z_{псг}$, тыс. руб./т
0,2	197	24,4	6,9	284	50,6	5,9	216	30,3	6,5
0,5	149	34,9	5,82	215	72,6	5,26	164	42,0	5,6
1,0	120	45,2	5,24	173	94,0	5,1	132	54,7	5,14
2,0	97	59,1	5,0	140	123,1	4,9	106	70,6	4,96
4,0	78	76,4	4,8	113	160,4	4,4	86	92,9	4,7

Как показали проведенные исследования, значительное влияние на радиус и объем доставки продукта оказывает показатель равномерности потребления газа на рассматриваемой территории газоснабжения. При изменении показателя q от 0,2 до 4,0 т/(год·км²) радиус действия станции изменяется в пределах от 78 до 284 км, а объем реализуемого газа – от 24,4 до 160,4 тыс.т/год.

Наиболее дорогостоящим вариантом является реализация газа через баллоны ($\beta=0$) при любом значении показателя равномерности потребления газа, в то же время при росте показателя равномерности стоимость затрат по реализации газа снижается от 6,9 тыс.руб/т ($q=0,2$ т/(год·км²)) до 4,8 тыс.руб/т ($q=4,0$ т/(год·км²)).

Менее затратным по реализации газа является вариант применения групповых резервуарных установок у потребителя ($\beta=1$) с учетом их оптимальной централизации – 5,9 тыс.руб/т при $q=0,2$ т/(год·км²) и 4,4 тыс.руб/т при $q=4,0$ т/(год·км²) соответственно.

При наиболее часто встречающемся соотношении $0<\beta<1$ расчетные затраты варьируются в соответствующих пределах в зависимости от доли потребителей, использующих СУГ на все бытовые нужды (отопление, горячее водоснабжение и пищеприготовление).

Выводы

1. Практика формирования структуры газоснабжения населенных пунктов показывает, что использование газового топлива осуществляется, как правило, совместно через баллоны и через групповые резервуарные установки, т.е. реализуется условие $0<\beta<1$.

2. Для оптимизации затрат рекомендуется вариант газоснабжения через групповые резервуарные установки и баллоны со следующими параметрами газораспределительных систем в зависимости от показателя равномерности потребления газа (при изменении затрат полярных вариантов реализации СУГ не более чем на 9,2 %):

- радиус доставки газа от ГНС до населенного пункта от 86 до 216 км;
- объем реализуемого продукта от 30 до 93 тыс.т /год.

Список литературы

1. Мелентьев, Л. А. Системные исследования в энергетике / Л.А. Мелентьев. – М.: Наука, 1983. – 362 с.
2. Макаров, А.А. Системные исследования развития энергетики: курс лекций / А.А. Макаров. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 278 с.

3. Директор, Л.Б. Решение задач оптимизации сложных энергетических систем / Л.Б. Директор, И. Л. Майков // Управление большими системами: сб. тр. – М., 2010. – № 28. – С. 274–292.
4. Рубинштейн, С.В. Газонаполнительные станции сжиженных углеводородных газов / С.В. Рубинштейн – Л.:Недра, 1989. – 232 с.
5. Рачевский, Б.С. Новая эффективная технология распределения сжиженных углеводородных газов / Б.С. Рачевский // АГЗК+АТ. – М.: ООО «Издательство Машиностроение», 2004. – №6 (18). – С.12–14.
6. Никитин, Н.И. Источники снабжения сжиженным газом / Н.И. Никитин, Б.Н. Курицын, И.А. Ценципер // Транспорт, хранение и распределение и использование сжиженных углеводородных газов в народном хозяйстве. – М.: ВНИИЭГазпром, 1970. – С.3–12.
7. Осипова, Н.Н. Оптимальная централизация региональных систем снабжения сжиженным газом при реализации СУГ непосредственно от газонаполнительной станции / Н.Н. Осипова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения: межвуз. науч. сб. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. – С. 62–71.
8. Осипова, Н.Н. Моделирование оптимального функционирования одноступенчатых систем снабжения сжиженным газом на базе газонаполнительных станций / Н.Н. Осипова // Вестник ТГАСУ. – 2010. – Вып.4 (29). – С. 150–155.
9. Formation of Optimum Structure of a Regional Gas Distribution System for Supply of Consumers with Liquefied Hydrocarbon Gas / N.N. Osipova [etc.] // International Journal of Applied Engineering Research (ISSN 0973-4562). Research India Publications, 2016. – Vol. 11, № 17. – P. 9143–9148.
10. Осипова, Н.Н. Выбор схемно-параметрических решений поселковых систем газоснабжения / Н.Н. Осипова // Вестник ВГАСУ: серия «Строительство и архитектура». – Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. – Вып.24(43). – С. 97–103.

References

1. Melent'ev, L.A. System Research in Energy / L.A. Melent'ev. – М.: Nauka, 1983. – 362 p.
2. Makarov, A.A. System Research for Energy: Lectures / A.A. Makarov. – М.: MEI Publishing House, 2015. – 278 p.
3. Director, L.B. Problem solving optimization of complex energy systems / L.B. Director, I.L. Maikov // Managing large systems: Proceedings. – М., 2010. – № 28. – P. 274–292.
4. Rubinstein, S.V. Gas filling stations LPG / S.V. Rubinstein. – L.: Nedra, 1989. – 232 p.
5. Rachevsky, B.S. The new technology is an efficient distribution of liquefied petroleum gas / B.S. Rachevsky // AGZK + AT. – М.: ООО «Publisher Engineering», 2004. – №6 (18). – P.12-14.
6. Nikitin, N.I. Sources of supply of LPG / N.I. Nikitin, B.N. Kuritsyn, I.A. Tsentsiper // Transport, storage and distribution and use of liquefied petroleum gases in the national economy. – М.: VNIIEGazprom, 1970. – P.3–12.
7. Osipova, N.N. Optimum centralization of regional systems of liquefied gas supply with LPG sales directly from the filling station / N.N. Osipova // Scientific and technical problems of improvement and development of gas supply systems: Hi. scientific. Sat. – Saratov: Sarat. state. tehn. University, 2007. – P. 62–71.
8. Osipova, N.N. Simulation of optimal functioning of the single stage LPG supply systems on the basis of gas-filling stations / N.N. Osipova // Scientific and Technical Journal: Journal of Trace. – 2010. – Vol. 4(29). – P. 150–155.
9. Formation of Optimum Structure of a Regional Gas Distribution System for Supply of Consumers with Liquefied Hydrocarbon Gas / N.N. Osipova [etc.] // International Journal of Applied Engineering Research (ISSN 0973-4562). Research India Publications, 2016. – Vol. 11, № 17. – P. 9143–9148.
10. Osipova, N.N. Selecting the circuit-parametric solutions township of gas supply systems / N.N. Osipova // Herald VGASU: a series of «Construction and architecture». – Volgograd: VolgGASU, 2011. – Vol. 24(43). – P. 97–103.

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

Аржаева Наталья Владимировна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: summer981@yandex.ru

Степанов Сергей Алексеевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Физика и химия»

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор,
декан факультета «Управление
территориями»
E-mail zigk@pguas.ru

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

Arzhaeva Natalia Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»
E-mail: summer981@yandex.ru

Stepanov Sergei Alekseevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Pphysics and chemistry»

Tarakanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Dean of the faculty «Management of the
territories»
E-mail zigk@pguas.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Н.В.Аржаева, С.А.Степанов, О.В.Тараканов

Предложено использование малозатратных мероприятий для повышения надежности и экономичности систем теплоснабжения. Рассмотрены возможности наладки гидравлического и теплового режимов, этапы режимно-наладочных работ.

Ключевые слова: системы теплоснабжения, надежность, экономичность, тепловой режим, гидравлический режим, наладка

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS ON IMPROVING RELIABILITY AND EFFICIENCY OF DISTRICT HEATING SYSTEMS

N.V. Arzhaeva, S.A.Stepanov, O.V.Tarakanov

The use of low-cost activities to improve reliability and efficiency of heating systems are offered. Possibility of adjusting hydraulic and thermal modes, stages of the operation are considered.

Keywords: heat supply systems, reliability, efficiency, thermal, hydraulic, adjustment mode

Ни для кого не секрет, что в России давно назрела необходимость реформирования жилищного хозяйства. Сохранившиеся со времен СССР высокоцентрализованные инженерные сети давно пребывают в критическом состоянии. Низкая надежность тепловых сетей – следствие технической политики, проводимой в нашей стране на протяжении десятилетий.

За последние 30 лет конструкция теплопроводов и применяемых гидротеплоизоляционных материалов не претерпела качественных изменений, и все совершенствование шло за счет индустриализации работ при строительстве и снижения первоначальных затрат.

В современных нормативных документах отсутствует целостная концепция повышения надежности и экономичности теплоснабжения, которая учитывала бы оптимальную мощность и необходимость резервирования теплоисточников и сетей, требования к материалам и трубам, эксплуатационно-ремонтному обслуживанию и др.

В тепловых сетях складывается такая обстановка, когда уровень надежности и экономичности теплоснабжения не соответствует предъявляемым требованиям.

Количественные и качественные характеристики современного состояния тепловых сетей достигли таких величин, что существующие технологические, организационные и экономические возможности эксплуатирующих организаций с трудом обеспечивают управляемость процессом централизованного теплоснабжения.

Для выхода из создавшегося сложного положения необходим решительный поворот к применению новых прогрессивных технологий при производстве капитального ремонта, реконструкции и нового строительства тепловых сетей.

Опыт обследования тепловых сетей показывает, что даже начальные малозатратные мероприятия на теплосетях, например наладка теплосети, позволяют в течение отопительного сезона достигнуть 30 % экономии электроэнергии и топлива. Гидравлическая налаженность теплотрассы является главным фактором, определяющим экономичность ее работы. Реальные сети зачастую разрегулированы, что не позволяет организовать равномерное и устойчивое распределение тепла между потребителями. Гидравлическая налаженность теплотрассы является основополагающим фактором, определяющим экономичность ее работы. Подключенные к теплотрассе объекты теплоснабжения должны быть правильно шайбированы таким образом, чтобы тепло распределялось по ним равномерно. В противном случае тепловая энергия перестает эффективно использоваться на объектах потребления и возникает ситуация с возвращением части тепловой энергии по обратному трубопроводу на котельную.

В 82 % случаев имеется гидравлическая разрегулировка сети [2]. Несовпадение эксплуатационных режимов с расчетными приводит к:

- увеличению расхода сетевой воды, а значит, к сверхнормативным затратам топлива и потребляемой электроэнергии;
- снижению качества теплоснабжения в результате перетоков зданий в весенние и осенние периоды и дефицита тепла в зимний период;
- возникновению частых аварийных ситуаций, преждевременному выходу из строя теплотехнического оборудования.

В 46 % имеются проблемы с достоверностью и полнотой документации:

- паспортная и схемная информация теплосети носит разрозненный и неполный характер, хранится в разных местах;
- информация о проведенных ремонтных работах не систематизирована или недоступна.

В результате комплексного обследования систем теплоснабжения появляется возможность составления полной расчетной схемы теплоснабжения с учетом перспективных нагрузок.

Нормальная работа систем теплоснабжения заключается в обеспечении потребителей тепловой энергией соответствующего качества. Энергоснабжающая организация должна выдерживать параметры режима теплоснабжения на уровне, регламентируемом Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) электростанций и сетей РФ, ПТЭ тепловых энергоустановок. Гидравлический режим определяется характеристиками основных элементов системы теплоснабжения: водоподогревательной установки источника тепловой энергии с сетевыми насосами, тепловой сети и систем теплоснабжения.

В процессе эксплуатации в действующей системе централизованного теплоснабжения из-за изменения характера тепловой нагрузки, подключения новых потребителей теплоты, увеличения шероховатости трубопроводов, корректировки расчетной температуры на отопление, изменения температурного графика отпуска тепловой энергии с источника теплоты происходят, как правило, неравномерная подача тепла потребителям, завышение расходов сетевой воды и сокращение пропускной способности трубопроводов.

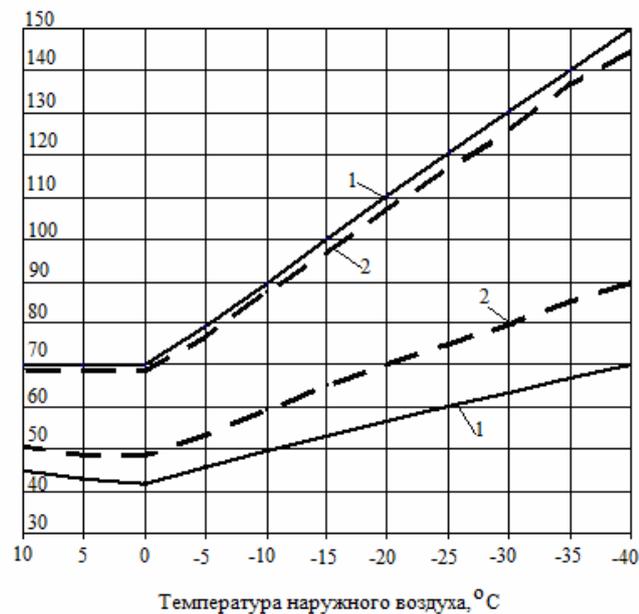
В дополнение к этому, как правило, существуют проблемы в системах теплоснабжения, такие, как разрегулированность режимов теплоснабжения, разукomплектованность элеваторных узлов, самовольное нарушение потребителями схем присое-

динения. Указанные проблемы систем теплоснабжения проявляются в первую очередь в разрегулированности всей системы, характеризующейся повышенными расходами теплоносителя. Как следствие – недостаточные (из-за повышенных потерь давления) располагаемые напоры теплоносителя на вводах.

Все это оказывает негативное влияние на всю систему теплоснабжения и на деятельность энергоснабжающей организации: невозможность соблюдения температурного графика; повышенная подпитка системы теплоснабжения, вынужденное увеличение отпуска тепловой энергии для сокращения числа жалоб населения; увеличение эксплуатационных затрат в системе транспорта и распределения тепловой энергии.

Необходимо указать, что в системе теплоснабжения всегда имеет место взаимосвязь установившихся тепловых и гидравлических режимов. Изменение потоко-распределения (его абсолютной величины включительно) всегда меняет условие теплообмена как непосредственно на подогревательных установках, так и в системах теплоснабжения. Результатом разрегулировки системы теплоснабжения является, как правило, высокая температура обратной сетевой воды.

Следует отметить, что температура обратной сетевой воды на источнике тепловой энергии является одной из основных режимных характеристик, предназначенных для анализа состояния оборудования тепловых сетей и режимов работы системы теплоснабжения, а также для оценки эффективности мероприятий, проводимых организациями, эксплуатирующими тепловые сети, с целью повышения уровня эксплуатации системы теплоснабжения. Как правило, в случае разрегулировки системы теплоснабжения фактическое значение данной температуры существенно отличается от своего нормативного, расчетного для данной системы теплоснабжения значения. Графическое отображение возможных значений фактических температур в подающем и обратном трубопроводах на выводе источника тепловой энергии представлено на рисунке.



Температурный график отпуска тепловой энергии:

- 1 – температурный график отпуска тепловой энергии 150/70 °C;
- 2 – возможные фактические температуры на источнике теплоты

Перепад температур в подающих и обратных трубопроводах, а именно этот показатель (наряду с удельным расходом сетевой воды на присоединенную тепловую нагрузку) характеризует уровень качества потребления тепловой энергии, занижен по сравнению с требуемыми значениями по температурному графику.

Для непосредственного анализа целесообразно воспользоваться зависимостью, которая определяет в случае отклонения действительных параметров и конструктив-

ных элементов системы теплоснабжения от расчетных отношение действительного расхода тепловой энергии в системах теплопотребления к его расчетному значению.

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{g'}{g} \cdot \frac{t_n - t_o'}{t_n - t_o}, \quad (1)$$

где Q – расход тепловой энергии в системах теплопотребления; g – расход сетевой воды; t_n и t_o – температура в подающем и обратном трубопроводах соответственно.

Необходимо отметить, что, во-первых, увеличение расхода сетевой воды в n раз не вызывает соответствующего этому числу увеличения расхода тепловой энергии, то есть коэффициент расхода теплоты отстает от коэффициента расхода сетевой воды. Во-вторых, при сокращении расхода сетевой воды подача теплоты в местную систему теплопотребления уменьшается тем быстрее, чем меньше фактический расход сетевой воды по сравнению с расчетным.

Таким образом, системы отопления и вентиляции весьма слабо реагируют на перерасход сетевой воды. Так, увеличение расхода сетевой воды на эти системы относительно расчетного значения на 50 % вызывает увеличение теплопотребления только на 10 % [3].

Увеличенный расход сетевой воды, ввиду ограниченного значения пропускной способности тепловых сетей, приводит к уменьшению необходимых для нормальной работы теплопотребляющего оборудования значений располагаемых напоров на вводах потребителей. Следует отметить, что потери напора по тепловой сети определяются квадратичной зависимостью от расхода сетевой воды:

$$\frac{G_\phi}{G_p} = \left(\frac{\Delta H_\phi}{\Delta H_p} \right)^2. \quad (2)$$

То есть при увеличении фактического расхода сетевой воды в 2 раза относительно расчетного значения потери напора по тепловой сети возрастают в 4 раза, что может привести к недопустимо малым располагаемым напорам на тепловых узлах потребителей и, следовательно, к недостаточному теплоснабжению этих потребителей, что, в свою очередь, может вызывать несанкционированный слив сетевой воды для создания циркуляции (самовольное нарушение потребителями схем присоединения и т.п.)

Таким образом, в разрегулированной системе теплоснабжения, развитие которой, как правило, происходит по пути увеличения установленной мощности основного оборудования (насосных и водоподогревательной установки источника тепловой энергии), пропускной способности магистральной тепловой сети, параллельно с этими процессами наблюдается процесс гидравлической разрегулировки, при этом, по сути, стихийно складывается объективная ситуация, при которой практически отсутствует возможность не только присоединения новых потребителей без дополнительных капитальных затрат на увеличение пропускной способности сети, установленной мощности сетевых насосных агрегатов, но и поддержания требуемых параметров на вводах к потребителям.

Дальнейшее развитие такой системы теплоснабжения по пути увеличения расхода теплоносителя, во-первых, потребует замены головных участков теплопроводов, установки дополнительных сетевых насосных агрегатов, увеличения производительности водоподготовки и т.п., во-вторых, ведет к еще большему росту дополнительных издержек – расходов на компенсацию электроэнергии, подпиточной воды, потерь тепловой энергии.

Главным мероприятием, которое может быть предложено для оптимизации системы теплоснабжения, является наладка гидравлического и теплового режимов системы теплоснабжения. Техническая сущность данного мероприятия заключается в установлении потокораспределения в системе теплоснабжения исходя из расчетных (т.е. соответствующих присоединенной тепловой нагрузке и выбранному температурному графику) расходов сетевой воды для каждой системы теплопотребления. Это достигается установкой на вводах в системы теплопотребления соответствующих

дросселирующих устройств – авторегуляторов, дроссельных шайб, сопел элеваторов, расчет которых производится исходя из расчетного перепада давлений на каждом вводе, который рассчитывается исходя из гидравлического и теплового расчета всей системы теплоснабжения [4].

Следует отметить, что создание нормального режима функционирования такой системы теплоснабжения не ограничивается только проведением наладочных мероприятий, необходимо также выполнение работ по оптимизации гидравлического режима системы теплоснабжения.

Режимная наладка охватывает основные звенья системы централизованного теплоснабжения: водоподогревательную установку источника теплоты, центральные тепловые пункты (при наличии таковых), тепловую сеть, контрольно-распределительные пункты (при наличии), индивидуальные тепловые пункты и местные системы теплоснабжения.

Наладка начинается с обследования системы централизованного теплоснабжения. Проводится сбор и анализ исходных данных по фактическим эксплуатационным режимам работы системы транспорта и распределения тепловой энергии, сведений по техническому состоянию тепловых сетей, степени оснащённости источника теплоты, тепловых сетей и абонентов коммерческими и технологическими средствами измерения. Анализируются применяемые режимы отпуска тепловой энергии, выявляются возможные дефекты проекта и монтажа, подбирается информация для анализа характеристики системы. Проводятся анализ эксплуатационной (статистической) информации – ведомостей учета параметров теплоносителя, режимов отпуска и потребления энергии, фактических гидравлических и тепловых режимов тепловых сетей – при различных значениях температуры наружного воздуха в базовые периоды, а также анализ отчетов специализированных организаций.

На основании результатов проведенного анализа разрабатываются мероприятия по повышению эффективности работы тепловых сетей. Это, как правило, изменение конфигурации схемы системы теплоснабжения. Например, исключаются из эксплуатации довольно протяженные участки тепловых сетей, некоторые потребители или даже целые микрорайоны присоединяются к новым магистралям. Бывает, что выводятся из эксплуатации центральные тепловые пункты, мешающие нормальному функционированию системы теплоснабжения, иногда принимается решение об изменении температурного графика. Все мероприятия разрабатываются с учетом оборудования, имеющегося на источнике тепла. Основным критерием при принятии каких-либо решений является максимальное повышение эффективности работы системы теплоснабжения при минимальных затратах и незначительной реконструкции на тепловых сетях и источнике тепла. Все мероприятия должны быть согласованы с энерго-снабжающей и эксплуатирующей организациями.

Следующим этапом является проведение расчетов теплового и гидравлического режимов на новые условия работы системы теплоснабжения. Рассчитываются дроссельные устройства для регулирования работы тепловых сетей. Дроссельные устройства – это стальные шайбы с расчетным отверстием, которые устанавливаются на ответвлениях тепловой сети, а также в узлах ввода теплоносителя в здания. Благодаря установке регулирующих шайб происходит перераспределение сетевой воды в тепловых сетях таким образом, что все потребители – и близко расположенные, и удаленные от источника тепла – получают свой расчетный расход воды, т. е. находятся в равных условиях.

Обеспечение расчетного расхода теплоносителя у потребителей позволяет снизить общее количество циркулирующей в системе теплоснабжения воды, что благоприятно сказывается на работе всей системы. Появляется возможность повысить температуру воды на выходе из котлов в соответствии с расчетным температурным графиком. Снижается гидравлическое сопротивление тепловой сети, при этом увеличивается располагаемый напор на выходе из источника тепла, что позволяет при необходимости без увеличения мощности теплоисточника присоединить к нему дополнительных потребителей. Эксплуатируется минимально необходимое количество насосов, уменьшаются утечки из теплосетей. Потребление энергоресурсов и эксплуатационные затраты на выработку тепловой энергии в целом снижаются.

Получение положительного эффекта от проведения наладочных работ возможно только при выполнении рекомендованных мероприятий в полном объеме. Особенно важным звеном является оперативный монтаж всех 100 % дроссельных шайб, а также последующий контроль их неизменности и сохранности в местах установки. На фоне предыдущего дефицита тепла установка ограничительных шайб обычно у всех вызывает их неприятие. В связи с этим всегда находится кто-то неизвестный, который увеличивает калиброванное отверстие шайб или вовсе демонтирует их. Чтобы этого не происходило, необходимо заранее готовить (технически и психологически) ответственный за шайбирование тепловых сетей персонал.

Инженерные работы проводятся в зимний период, когда визуально и с помощью диагностических приборов можно обследовать работающую систему теплоснабжения с тем, чтобы к началу летней ремонтной кампании выдать эксплуатирующей организации необходимые рекомендации. Установка шайб обычно осуществляется в летний период. С началом отопительного сезона проводятся регулировочные работы, включающие в себя проверку выполнения рекомендаций, необходимые замеры, корректировку ранее выданных рекомендаций и пр.

Выводы:

1. Проведение наладочных мероприятий на тепловых сетях позволит сэкономить до 30 % тепловой энергии при соответствующем сокращении эксплуатационных затрат на источнике тепла. При этом затраты на наладочные мероприятия весьма незначительны по сравнению с затратами на увеличение мощности источника тепла и тепловых сетей или же устранение аварий. Затраты на реализацию рекомендаций по оптимизации работы системы теплоснабжения вполне вписываются в фонд подготовки к зиме.

2. Действующие нормативные документы помогают проектным и монтажным организациям, а также потребителям квалифицированно использовать теплоизоляционные материалы в теплоизоляционных конструкциях, повысить энергоэффективность, надежность и долговечность конструкций тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей, что в конечном счете обеспечит значительную экономию энергетических ресурсов и средств потребителей тепловой энергии.

3. Дальнейшее совершенствование нормативной базы и методов расчета тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей, расширение номенклатуры и повышение эксплуатационных характеристик применяемых теплоизоляционных материалов будут являться реальным вкладом в реализацию программы энергосбережения в промышленности и ЖКХ.

Список литературы

1. Федеральный закон №190-ФЗ «О теплоснабжении» от 27 июля 2010 г.
2. Липовских, В.М. Снижение капитальных затрат и платы за присоединенную мощность в системах теплоснабжения / В.М. Липовских, А.А. Арешкин, Д.Н. Николаевский // Энергетик. – 2010. – №7. – С. 25–28.
3. Рябцев, Г.А. О некоторых путях уменьшения потерь теплоты/ Г.А.Рябцев, М.А. Литвиненко, А.Н. Плетнев //Новости теплоснабжения. – 2001. – № 7. – С.33–34.
4. Ротов, П.В. Способы регулирования тепловой нагрузки систем теплоснабжения. Перспективы развития / П.В. Ротов// Новости теплоснабжения. – 2007. – № 2.
5. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я.Соколов. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 427 с.

References

1. Federal Law No. 190-FZ «On heat» from 2 July 27, 2010.
2. Lipovskih, V.M. Reduction of capital costs and fees attached to power heating systems/ V.M. Lipovskih, M.A. Areshkin, D. N. Nikolaev // Energy. – 2010. – N 7. – P. 25–28.
3. Ryabtsev, G.A. About some ways to reduce heat loss / G.A.Ryabtsev, M.A.Litvinenko, A.N. Pletnev // News of heat supply. – 2001. – No. 7 – P. 33–34.
4. Rotov, P.V. Ways of regulation of heat load heat supply systems. Prospects of development/ P.V. Rotov // News of heat supply. – 2007. – No. 2.
5. Sokolov, E.I Thermofication and heat networks / E.I Sokolov. – M.: Izdatelstvo MEI, 2001. – 427 p.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 726.5

Московский архитектурный институт
Россия, 107031, Москва,
ул. Рождественка, д. 11
тел.: 8 (495) 625-50-82

Борисов Сергей Владимирович,
кандидат архитектуры, профессор
«Основы архитектурного проектирования»
E-mail: borisov-sv@inbox.ru

Moscow Institute of Architecture
Russia, 107031, Moscow, 11,
Rozhdestvenka st.
tel.: 8 (495) 625-50-82

Borisov Sergey Vladimirovich,
Candidate of Architecture, Professor of the
department «Fundamentals of Architectural
Design»
E-mail: borisov-sv@inbox.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИКОНОСТАСА ДОМОВОГО ХРАМА ТВЕРСКОГО ИМПЕРАТОРСКОГО ДВОРЦА

С.В. Борисов

Рассмотрены основные этапы возведения иконостаса храма св. Екатерины в Тверском Императорском дворце. При недостаточности документальных данных предложены авторские гипотетические реконструкции. В качестве аналогов привлечены близкие по времени иконостасы, относящиеся ко второй половине XVIII – началу XIX века. Отмечено преобладающее западноевропейское влияние на композиционные особенности иконостаса домового храма второй половины XVIII века.

Ключевые слова: архитектура, православие, иконостас, храм, алтарь, реконструкция

RECONSTRUCTION OF THE HOUSE CHURCH ICONOSTASIS IN TVER IMPERIAL PALACE

S.V. Borisov

The article describes the main construction stages of the St. Catherine's church iconostasis in Tver Imperial palace. The author has proposed a hypothetical author's reconstruction of the unpreserved iconostasis in the absence of documentary evidence. As an analogy, they have involved close in time iconostasis, dating back to the second half of XVIII – early XIX centuries. The article notes the prevailing Western European influence on the compositional features of iconostasis in the house church second half XVIII century.

Keywords: architecture, orthodoxy, iconostasis, church, altar, reconstruction

Введение. Домовые храмы являлись неотъемлемой составляющей многих крупных дворцовых и усадебных зданий как в допетровские времена, так и в XVIII–XIX веках. Их изучение способствует более глубокому пониманию взаимопроникновения светской и церковной архитектуры [1], что актуально в настоящее время при определении тенденций развития современного храмового строительства. В структуру Тверского Императорского дворца, имеющего более чем шестисотлетнюю историю, изначально входил домовый храм. При перестройке второй половины XVIII века на основе строений древнего архиерейского двора, произведенной командой архитектора П.Р. Никитина, храм получил посвящение святой великомученице Екатерине [2]. Располагаясь в

юго-западной оконечности дворца, имеющего планировочную организацию «покоем», храм занимал один из двух башенных купольных павильонов, примыкающих к боковым крыльям здания.

При беглом взгляде на современный дворец сложно заметить наличие в нем каких-либо элементов, характерных для отечественной храмовой архитектуры, и только при более внимательном рассмотрении становится виден православный крест в завершении западного башенного павильона. Представляется, что значимость домового церкви сознательно нивелирована автором-архитектором, последователем концепций эпохи Просвещения, встроена им в общую структуру архитектурного декора дворца и продублирована вторым, идентичным ей павильоном. Между тем, именно храму дворец обязан наиболее своеобразными элементами своей объемно-пространственной композиции – парными объемами с высокими куполами в южной оконечности флигелей (рис. 1).

В основании храма лежит четырехконечный греческий крест, его ветви по глубине составляют половину ширины центрального нефа или равного ему трансепта. Планировочная структура отображена в системе сводов: ветви креста перекрыты четырьмя цилиндрическими сводами, а центральный планировочный квадрат – куполом на парусах [3, 4]. Храм прекрасно освещен естественным светом, выразительны во внутреннем пространстве овалы окна, расположенные в четырех полуциркульных тимпанах, образованных цилиндрическими сводами ветвей планировочного креста.

Иконостас храма в структуре дворца, возведенного в 1763–1773 годах командой архитектора П.Р. Никитина. Значительный интерес представляет утраченный иконостас, относящийся ко второй половине XVIII века. Судя по сохранившимся описаниям [2, с. 172], иконостас представлял собой отдельно стоящую купольную ротонду в восточной ветви планировочного креста: «... 16 украшенных каннелюрами и сплошь вызолоченных колонн смешанного ордера окружали престол и служили основанием круглому своду, который простирался над всем алтарем, так что он представлялся особым среди церкви воздвигнутым храмом; по обеим сторонам царских дверей в четырех между столпях помещались в резных золоченых рамах местные образа ...». Подобное решение имело многочисленные аналогии в указанное время и находилось в русле привнесения в отечественную храмовую архитектуру западноевропейских римско-католических традиций устройства алтаря. В [1] указано, что иконостас «... есть точное подобие алтаря церкви Императорского Кабинета в Санкт-Петербурге ...» [2, с. 172]. Не располагая данными об архитектуре указанного алтаря, для графической реконструкции (рис. 2) мы воспользовались изображениями близких по типологии иконостасов [5–7]: Воскресенской церкви погоста Прутня, Тверская область, Торжокский район, 1777 год; Казанской церкви в усадьбе Ярополец Чернышевых, Московская область, Волоколамский район, 1780 год; Всесвятской церкви села Казулино, Смоленская область, Сафоновский район, 1809 (?) год.

При достаточных габаритах ротонды равные интерколумнии между шестнадцатью колоннами позволяют поместить в видимой из храма части иконостаса указанные в описании иконы местного ряда. На реконструкции (см. рис. 2 а) к югу от царских врат показаны изображения Спасителя и святой великомученицы Екатерины (подобное расположение диктуется посвящением храма), далее находятся диаконские врата. По колоннам композитного ордера проходит антаблемент, несущий купольное завершение. В [2, с. 173] упомянуты три малые иконы в овалных клеймах, находящиеся «... выше их (местного ряда, прим. автора) над царскими дверями и по сторонам оных ...». Две из них: Преображение и Крещение Господне в реконструкции (см. рис. 2 а) показаны ниже антаблемента в едином вертикальном модуле с «сиянием» царских врат. Третье, центральное изображение Святой Троицы – в аттике с полуциркульным завершением, увенчанное Крестом. Вместе с показанным расположением малых икон мы допускаем вариант их общего размещения в едином ряду над антаблементом.



Рис. 1. Графическая реконструкция дворца второй половины XVIII века, вид с юго-запада, в правой части рисунка идентичный храму купольный павильон (рисунок автора)



Рис. 2. Графическая реконструкция иконостаса храма святой великомученицы Екатерины (рисунок автора):

- а – иконостас, реализованный в 1763–1773 годах;
- б – проектное предложение иконостаса 1763–1773 годов

На планах дворца второй половины XVIII века показано иное решение иконостаса с двенадцатью колоннами, очевидно, оставшееся в проекте. Как и в реализованном варианте, иконостас являлся здесь отдельно стоящим сооружением, сенью над престолом. В плане он представлял сочетание квадрата и окружности с центром в точке пересечения диагоналей. Сегменты окружности соответствовали, вероятно, расположению икон, а каждая из четырех угловых частей планировочного квадрата оформлялась пучком из трех колонн. На более позднем по времени плане дворцового храма четкая геометрия изменилась, планировочный квадрат преобразовался в прямоугольник, растянутый вдоль оси «север-юг». Нарушилось равенство сегментов окружности, ставших плавными кривыми, из которых отрезки, находящиеся в западной и восточной частях иконостаса, приобрели большие габариты. По-видимому, в процессе разработки проекта стала очевидной недостаточность пространства для размещения царских врат и икон Спасителя и Пресвятой Богородицы по сторонам от них, что и повлекло нарушение «идеальной» геометрии. На реконструкции данного варианта иконостаса (см. рис. 2 б) он показан в пышной барочной обработке, что соответствует более раннему, по сравнению с реализованным, времени его создания. Состав икон принят аналогичным описанию, приведенному в [2]. Вопрос об изолированности внутреннего пространства алтарной сени (см. рис. 2) решен в традиционном для отечественного храмоустройства ключе – интерколумнии закрыты в видимой части иконами и вставками, возможно, завесами.

Иконостас храма при реконструкции дворца архитектором К.И. Росси в 1809 году. Переделка дворца во время приспособления его для резиденции генерал-губернатора [8] мало затронула общее объемно-пространственное решение и заключалась, в основном, в изменении декора фасадов и внутренней отделки помещений. Сказанное относится и к храму, причем фасадные решения второй половины XVIII века, судя по их сопоставлению с проектным чертежом К.И. Росси, не подверглись корректировке, за исключением упразднения барочной лепнины, изменения ордерной обработки венчающих карнизов и поднятия арочных перемычек окон подклета.



Рис. 3. Графическая реконструкция иконостаса 1809 года (рисунок автора)

В новом иконостасе, выполненном по проекту К.И. Росси, с определенной степенью достоверности реконструируется его план, представленный на чертеже начала XIX века [2]. На нем отмечена алтарная преграда с четырьмя трехчетвертными колон-

нами, вынесенная в центральное пространство храма на расстояние, несколько меньшее ширины подкупольных столбов. Две колонны фланкируют царские врата, в каждом из узких интерколумниев возможно разместить только по одной иконе. Центральная часть иконостаса соединяется с подкупольными столбами отрезками преграды с дьяконскими вратами, развернутыми под углом к планировочным осям храма, что позволяет увеличить ширину дверных проемов. Судя по историческому плану, по сторонам от диаконских врат в узких простенках затруднительно разместить иконы, что входит в противоречие с сохранившейся описью убранства храма 1816 года [2]. В ней есть четкое указание на четыре крупные иконы местного ряда, тогда как на указанном плане представляется возможным разместить только две из них, по сторонам царских врат. Сопоставляя упомянутую опись и аналогичную за 1831 год, отметим, что в первой говорится о четырех колоннах коринфского ордера, а во второй – о восьми. Учитывая отмеченное противоречие в размещении икон, выскажем предположение, что иконостас распространялся на западные грани подкупольных столбов, где в виде приставных киотов с общим ордерным решением и дополнительными двумя парами трехчетвертных или плоских пилястр находились недостающие иконы (рис. 3).

В упомянутых исторических документах имеются сведения о колористическом решении архитектурных элементов иконостаса: белый фон, «лазурные» с имитацией мрамора колонны, вызолоченные капители и «розетты» над ними. Уточняется состав икон – над царскими вратами расположена Тайная Вечеря, выше нее Преображение Господне «... в полуциркуле...» [2, с. 89], а над ним Крест с сиянием. Для графической реконструкции (см. рис. 3) в качестве аналога использована сохранившаяся фотография дворцовой церкви, где виден поставленный во время реконструкции второй трети XIX века иконостас из Аничкова дворца Санкт-Петербурга, возможно, созданный К.И. Росси. На указанной фотографии показаны элементы убранства храма – ряды кессонов на подкупольных арках и живописные обрамления отдельных картин росписей сводов. Необычно решение солеи, лишенной привычного выступа амвона. Рассмотренные нами примеры архитектуры внутреннего убранства домового храма являются интересными примерами единства храмовой и светской архитектуры [9].

Заключение. По имеющимся данным, богослужение в дворцовой церкви проводилось нерегулярно, а в послереволюционные времена прекратилось полностью. Нивелирование значимости христианства и, как следствие, церковной архитектуры, наметившееся в России в эпоху Просвещения, ставило храмы в общий смысловой ряд со светскими сооружениями. Секулярные мировоззренческие концепции XX века, логически продолжая начатое столетиями ранее, вовсе исключили традиционное храмовое зодчество из разряда магистральных направлений архитектурного творчества.

Несмотря на явное доминирование западноевропейских тенденций в храмовой архитектуре России XVIII – первой половины XIX века, отметим общность их восходящих к традиционным тектоническим системам исторических корней с восточно-христианскими церквями. Сказанное позволяет сделать вывод об актуальности изучения отечественного наследия рассмотренного нами периода для совершенствования современного храмового строительства.

Список литературы

1. Швидковский, Д.О. Архитектура русского классицизма в эпоху Екатерины Великой / Д.О. Швидковский. – М.: Архитектура–С, 2016. – 256 с.
2. Горбатенко, С.Б. Тверской (Путевой) дворец. Историческая справка / С.Б. Горбатенко. – Л., 1989. – 207 с.
3. Борисов, С.В. О критериях оценки объемной композиции православных храмов / С.В. Борисов // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2(19). – С. 169–177.
4. Борисов, С.В. Традиционные планировочные решения православных приходских храмов: актуальность современного применения / С.В. Борисов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3(17). – С. 168–173.

5. Путьятин, И.Е. Образ русского храма и эпоха Просвещения / И.Е. Путьятин. – М.: Гнозис, 2009. – 416 с.
6. Борисов, С.В. Методика поиска аналогов при проектировании иконостасов православных храмов / С.В. Борисов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – №3(98). – С. 124–130.
7. Борисов, С.В. Европейская стилистика XVIII–XIX веков в современном российском храмостроении / С.В. Борисов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – №2. – С. 38–52.
8. Сапрыкина, Н.А. Особенности формирования среды обитания в контексте динамической адаптации архитектурного пространства / Н.А. Сапрыкина // Приволжский научный вестник. – 2015. – №1(41). – С. 93–97.
9. Борисов, С.В. Приходские комплексы как основа сохранения традиционного архитектурного пространства / С.В. Борисов // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3(24). – С. 101–106.

References

1. Shvidkovskiy, D.O. The architecture of Russian classicism in the era of Catherine the Great / D.O. Shvidkovskiy. – M.: Architecture-S, 2016. – 256 p.
2. Gorbatenko, S.B. Tver (the traveling) Palace. Background / S.B. Gorbatenko. – L.: 1989. – 207 p.
3. Borisov, S.V. On criteria for evaluating the volumetric composition Orthodox churches / S.V. Borisov // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2(19). – P. 169–177.
4. Borisov, S.V. Traditional planning solutions Orthodox parish churches: the relevance of modern applications / S.V. Borisov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3 (17). – P. 168–173.
5. Putyatina, I.E. The image of Russian church and the Age of Enlightenment / I.E. Putyatina. – M.: Gnosis, 2009. – 416 p.
6. Borisov, S.V. Technique search of analogues in the design iconostases of Orthodox churches / S.V. Borisov // Vestnik of the Irkutsk State Technical University. – 2015. – №3(98). – P. 124–130.
7. Borisov, S.V. The European stylistics XVIII–XIX centuries in the modern Russian church construction / S.V. Borisov // Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Building. – 2014. – №2. – P. 38–52.
8. Saprykina, N.A. Features of formation living environment in the context of a dynamic adaptation the architectural space / N.A. Saprykina. // Volga Scientific Herald. – 2015. – №1 (41). – P. 93–97.
9. Borisov, S.V. Parish complexes as a basis for maintaining the traditional architectural space / S.V. Borisov // Regional architecture and engineering. – 2015. – №3(24). – P. 101–106.

ИНФОРМАЦИОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATIONS

INNOVATIVE ENGINEERING

Oleg Figovsky

Professor, Polymate Ltd – Israel Research Center, POBox 73, MigdalHaEmek 10550, Israel

A process of innovation can be defined as a basis for socio-economic development of a modern society. Therefore, one of the priority components in the economic policies of developed countries is a world-wide support of a continuous process of innovations.

A process of creating something out of existing and available resources is called engineering. In accordance with this definition, engineering is an area of human intellectual and practical activity, a discipline and profession, whose goal is to implement achievements of science and technology and to use laws of nature and its resources for solving specific problems and achieving goals and objectives of mankind.

Historically, the term “engineering” emerged in connection with construction. Later, a combination of words “Construction” and “Engineering” was introduced into definition of other engineering areas such as, e.g., mechanical engineering, aeronautics, and others. Since long ago, in a wide range of different kinds of existing engineerings (construction, technology, software, social, etc.) a need occurred for the creation of “engineering innovations”. Such a necessity was due to the low efficiency of the existing processes of innovation. According to estimates by various experts, the existing efficiency of the existing innovation processes does not exceed 10 %. This means that, on average, only one in ten innovative developments receives acceptance in the market. If we assume that each of the failed projects consumed significant financial resources and time, it becomes clear why it is necessary to provide special educational and methodological provisions for the innovation process, which has been called “innovative engineering”. In other words, It is necessary to create conditions at which an object of innovative development becomes on demand in the planned amount, i.e., organically fit into the multidimensional space of the future.

There exist many individual reasons and their combinations, which may lead to a failure of projects. Analysis of the causes that negatively affect the final result of an innovative development is a subject of studies that are carried out within the framework of the methodological component of innovative engineering. The basis of this analysis is used for developing various recommendations and creating circuits and algorithms for the process of

innovation. Practical implementation of the methods of innovative engineering allows avoiding typical mistakes in the creation of innovative products.

The life cycle of a completed innovative product consists of several stages. The innovative step is the first one. It serves as a starting point for development and determination of basic properties and characteristics of the product to be developed. If the product is an innovative technological system, then we are talking about an innovation stage of the life cycle of technical systems (ISLCTS). In general, the following tasks have to be solved during fulfillment of ISLCTS stages:

1. Conducting a functional analysis of the primary innovation (innovative idea). Analysis of functions to be fulfilled by the proposed device and revilement of existing methods and devices for performing similar functions. Identification of functional, economical, and other advantages of the proposed innovations as compared to existing devices used for a similar purpose. Checking other ways to implement such functionality. Determining feasibility of the proposed innovation on the basis of existing and available resources.

2. Identifying and analyzing the needs that must be met by the proposed innovation. Identification of existing and potential markets for sales of the innovative product, as well as segmentation of these markets for approximate quantitative evaluation of a demand for the product.

3. Determining economic feasibility of the development and manufacture of the innovative product. Conducting functional and cost analysis for the market representation of the innovation.

4. Examination of the proposal for non-infringement with respect to potential markets.

5. Correcting the results of the primary marketing analysis of innovative proposals based on the results of the subsequent marketing and patent analyses by modifying the proposed and adding new consumer properties. Creating a market way of innovation as a combination of features and technical specifications that are required for fulfillment of new functions.

6. Creation of the general structural-functional model (image) of the future product. Conducting an external system analysis to identify various types of combined requirements for this type of products (safety requirements, medical requirements, military tactical and technical requirements, the requirements of the EMC and others.). Prediction of the various types of consequences (positive and negative) that may manifest as a result of the practical implementation of innovations. Adjustment of the structural and functional image of the product based on the results of the external system analysis.

7. Developing a detailed functional block diagram of the algorithm of the system. An internal system analysis and functional synthesis. Determination of the main and auxiliary system functions. Determination of the functional components and their characteristics for realization of functions of each system. Distribution of functions between the mechanical, optical, hydraulic, pneumatic, electrical, electronic, chemical, biological and other parts of the innovation system. Defining a functional relationship between all parts of the system, their compatibility, as well as the nature of the human-computer interaction.

8. Identify different kinds of contradictions at the functional level, solving problematic and inventive tasks. Preparing materials for patenting.

9. Documentary development of innovative proposals for the prototype of the proposed innovation, taking into account the carried-out corrections and the basic requirements (technical, medical-technical, tactical-technical, technical-didactic, etc.).

10. Implementation of the component synthesis for the system being developed on the basis of its functional scheme. Development of fundamental kinematic, hydraulic, optical, electrical, and other theoretical drawings and prototype circuits. Selecting and ordering equipment and materials for the manufacture of the prototype.

11. Design and manufacture of parts and units for mechanical, hydraulic (flow-capillary), pneumatic, optical and other parts of the product's prototype.

12. Development of schematic and technical schemes of electronic circuits of the prototype, their modeling and prototyping. Development of printed-circuit boards and electrical installation components.

13. Development of software and programmable electronic components for external computer control.

14. Assembling, testing and conducting laboratory and production (medical, field, etc.) tests of the prototype.

15. Preparation of technical specifications of the project for designing engineering prototypes of the innovative product.

The innovative engineering serves as a tool for implementation of the ISLCTS. Within the framework of its methodological component it is provided to develop and use principles and practical recommendations for transformation of a primary idea into an innovative product. As part of its methodological component used simultaneously developed principles and practical recommendations for the primary idea of transformation into an innovative product. For example, the list of IP stages of ZHTSTS given above can be used as a proven recommendation.

To perform external systematic analysis it is recommended to use the concept of «ideal final results» practiced in the Theory of Solution of Inventive Problems (TSIP) as an image of the innovation formed in the mind as described by characteristics peculiar to features of the new product. An idealized virtual imagination of the object of innovation prior to its materialization allows creating its marketable image. This is necessary for conducting market research, making market corrections, and forecasting various consequences and implications associated with the innovation (economic, industrial, social, mental, etc.).

It is recommended to carry out internal functional synthesis, by using as a guideline the concept of so-called «ideal system». The ideal system is a system that does not physically exist but properly functions. The idealized system allows increasing the functional load of the projected system in order to simplify it, while maintaining all the planned features. Such a system also establishes the principle of priority of the function to be performed with respect to the device which has to perform this function. For example, to measure the temperature of the engine it is not at all necessary to place a thermometer or a temperature sensor inside the engine. It is sufficient to use an existing resource, e.g., coil resistance that linearly increases with heating of the winding. Thus, the motor winding accomplishes two functions: it creates a magnetic field needed for rotation of the rotor and measures the temperature of the engine without installation of an additional temperature sensor.

The principle of the priority of the function performed is very important for a functional analysis and synthesis. One and the same function can be fulfilled by different components or devices of different systems. Therefore, in the process of synthesis and functional analysis it is possible to operate not with particular devices or system components but rather with their functions. For example, an internal functional analysis of such technical systems as a power system, communication system and a car shows their functional similarity (functional isomorphism). In other words, although a power system, a communication system, and a transport system are different in their target functions, their system functions are very similar.

For example, an energy system is characterized by conversion of energy of one type into the electric energy, conversion of electric energy to a form suitable for transmission over long distances, transmission of electrical energy via power transmission lines, and a reverse power conversion for use by consumers.

A communication system is characterized by conversion of information from one type into an electrical signal, conversion of an electrical signal to a form suitable for long-distance transmission, transmission of signals through communication lines, and signal inversion to the original type of information signal.

A car is characterized by conversion of heat energy into mechanical energy of reciprocating motion of the pistons, transformation of the reciprocating motion of the pistons into a rotary motion by a crankshaft mechanism, transmission of torque to the propelling means, i.e., drive wheels, and inversion of rotation of the wheels in a linear translational movement of the car.

All systems exemplified above have the functional structure of conversion and transmission of energy or information.

The functional analysis allows making an expert assessment about fundamental possibility for creating the proposed object of innovation. To do this, it is necessary to determine an existing scientific and technological potential with which it would be possible to implement the innovative product.

Estimation of the fundamental possibility of the creation of innovation is not sufficient for making a decision about the appropriateness of its development and implementation. To do this, it is necessary, by using the result of the functional analysis, to perform a value

analysis. The results of the latter are used for economic calculations, which are necessary for determining the cost of development and production innovation, as well as for determining approximate market price.

An important operation to be carried out within the framework of the external system and functional analysis is the definition of a combination of factors of influence on the process of implementation of the innovations. Many innovative projects suffered a setback due to the fact that some of the requirements for this type of product was not taken into account. An example is the case of the apparatus for measuring acidity in a medium human digestive system. A radio pill was swallowed by a patient, a continuous pH-measurement was conducted in the course of passing of the pill through the digestive tract, and the pill was then naturally excreted. The pill was extracted from feces, washed, disinfected and was ready to host the next patient. Technical readiness of the expensive capsules did not mean that the next patient will be ready to swallow the pill that has been present in the feces. Thus a reasonable refusal of the patients to undergo this study was due to the fact that the developers had not taken into account the factor of natural human disgust.

Another and the most significant cause of innovation failure is to ignore or unfairly consider alternative ways and means to meet the same requirements when carrying out external system analysis. In this case, the market recognition can be given to a competitive method used for achieving the goal of innovative development. An example is the innovative project of one of the Israeli start-up firms promoting an effective method for compression of video information. The method allowed to significantly increase the transfer rate of video information via communication channels and reduce the amount of memory for storing this information. However, another innovation that allowed to dramatically increase the bandwidth communication channels and significantly reduce the cost of the memory also was successfully completed by that time. Thus, the proposed method for compressing video information appeared to be economically non-competitive.

According to the definition, the innovative engineering involves the use of all existing development tools and resources for creating innovative products in demand. With all the variety of methods and tools that are used in the process of innovation, the main innovative resources are innovative specialists. In accordance with the nature of the work, this category of professionals is the innovative engineers. Creating innovation is carried out thanks to their personal qualities and skills.

The process of formation of personal qualities in innovative engineers is determined by the creative atmosphere in the country and in the team, which must be supported and stimulated by the state innovation policy. According to various estimates, there are between 30 to 50 distinguished personal qualities. Of these, motivation, imagination, and thinking can be isolated as basic personality traits.

Desire as a concretized need may be defined as an impetus to action or a motivation. Motivation is an important and primary factor in the emergence of innovative ideas. When combined with persistence in solving problems, the motivation is an essential component of success. A man/woman puzzled with a specific problem becomes a pragmatist in the search, assimilation, and interpretation of all information received in the projection on the desired solution.

With respect to any activity a motivation has internal and external components. The internal (intrinsic) motivation is caused by the content of specific activities. A subject of the motivation my like likes the process itself and the nature of the work performed. To a large extent this is due to his/her ability to perform a specific activity and obtain a stable positive result of the performed work. The external (extrinsic) motivation is associated with influencing factors which are beyond the specific activity of the subject of motivation. These factors include financial interest, high social aspirations, etc.

The second most important factor that may cause innovative ideas is imagination. Imagination, as a form of reflection of the world, is a mental process that creates images and manipulates them at various angles, states, and combinations of states in the past, present, and future. An imagination helps to forecast future stages of activity and its results. There are several forms of imagination: active, passive, creative, recreative, and fantasy.

The highest form of active imagination is a creative imagination, which involves self-creation of images and their subsequent implementation. This kind of imagination is an integral part of any kind of work, because it is inherent in any creative person – a writer, artist, inventor, etc. Without this kind of imagination it would not be possible to solve many inventive problems, to make great discoveries, create masterpieces of art, etc.

Creative thinking is the third most important personal quality of an innovative engineer. It is based on a creative imagination. In contrast to the visual-figurative, visual-verbal and logical thinking, which provide an assessment and analysis of actually observed and perceived objects and events, the creative thinking operates with virtual objects. It requires the ability to keep in mind a variety of subjects, images and relationships between them. At the same time all these factors initially synthesized in a static system are subjected to various kinds of combinatorial or focused structural and functional changes to achieve an acceptable result. Creative thinking is a process carried out in the imagination of mental manipulation in a projected system in statics and dynamics in space and time, in the subsystems and super-systems using conventional operations and ways of thinking.

The following operations of thinking can be isolated in psychology: analysis, synthesis, generalization, comparison, classification (systematization), abstraction, and concretization. These operations allow us to carry out the process of penetration into the depths of a confronted problem, to consider the properties of constituent elements of the problem, their relationship and the nature of the contradictions. For his/her ability to think a person is obliged to Mother Nature as little as to the God. Due to the Nature, a human being has the brain – the body of thinking. The ability to think is a product of upbringing and education, a normal result of a biologically normal brain. In this context, the German philosopher Karl Jaspers said: «Most people do not know how to think, because from birth they can only sneeze and cough but in order to think they have to be taught to this skill.»

Professional training in the field of innovation engineering must take place in close connection with the formation of a system thought, based on all variety of mental operations and forms of thought. In contrast to the operations of thinking, the forms of thinking are formal structures of thoughts. Psychologists distinguish three forms of thinking – concept, judgment, and reasoning. Based on the concepts and judgments we make inferences that are inductive, deductive, and analogous. In turn, the analogies are direct, subjective, symbolic, and fantastic. For example, through analogies it is possible to mutually use those ways of formulating and solving problems that were established in different branches of human knowledge.

As can be seen from the list of ISLCTS stages, in the greater part of these stages, the innovative professionals have to operate with imaginative presentations of the proposed innovation and to carry out a systematic analysis and perform functional synthesis. The specifics of this kind of activity require, first of all, a continuous development of innovative methodological component of the innovation engineering, and second of all, the use of existing and creation of new special teaching methods for the preparation of innovative engineers. These methods should be aimed primarily at the development of creative imagination and creative, systematic and functional thinking.

The course on Development of Creative Imagination (DCI) (by P. Amnuel) can be used as a teaching aid for development of the creative thinking. Creative thinking develops in the process of solving innovative and inventive problems for resolving various kinds of contradictions. An effective training and methodical base for the development of creative thinking is, for example, the theory for solving inventive problems (TSIP). A two-dimensional didactic method was created for development of the system and functional thinking.

The method of two-dimensional didactics is considered as an integral part of the process of qualification training of innovative engineers. This method allows us to more fully and purposefully use the didactic potential of the studied general theoretical and specialized disciplines. It is also applicable in the implementation of functional training. In studying general theoretical and special subjects, the didactic bi-dimensionality is realized by associative linking of studied laws, phenomena, principles, effects, etc. to the corresponding isomorphisms of other subject areas.

As an example, we may refer to the general disciplinary representation of Ohm's law. Objectively, the Ohm's law mathematically describes not only a ratio of the electromotive force to the electric resistance. The general mathematical and semantic model also describes:

- a relation of the magnetomotive force to the resistance of the magnetic circuit;
- a ratio of the hydraulic or pneumatic pressure to the hydraulic or pneumatic resistances;
- a ratio of a directed mechanical force or torque to the mechanical resistance.

We provided only an incomplete list for implementations of the Ohm's law model. This list indicates to the existence of a general law which can be stated as follows: «The result of the impact of the driving force to any physical object (body or particle) is directly proportional to the magnitude of this force and inversely proportional to the resistance exerted by the object when it is in motion.»

The model of two-dimensional didactics is used for functional training. The functional training is based on a postulate stating that a number of system functions far less than a number of systems in which these functions are implemented. Examples include functions such as conversion, storage, cooling, gain, acceleration, and others. From the standpoint of the preparation of innovative engineers, it is very important to accumulate knowledge needed for a system functional synthesis of subjects of the innovation. For use in the process of training, these skills are grouped according to the principle of functional analogies. Let us consider as an example a function of «accumulation». This function is associated with the processes of accumulation of various types of resources (money, energy, information, etc..) and individual factors.

The accumulation function is needed:

- a) in a non-uniform admission and partial use of resources;
- b) in a time-limited accumulation and relatively long-term use of resources;
- c) in a long-term accumulation and short-term of the accumulated resources.

An example of transient accumulation and a relatively long use of the accumulated resources include purchasing food for a week, charging mobile phones, operation of flywheel accumulators, operation of analog-time capacitors, use of gas bombs, etc.

Long-term accumulation and short-term use of accumulated resources are realized at the consumer level at one-time use of a large amount of previously accumulated money; in installations for electric pulse treatment of materials, copra devices, flywheel forging presses, and the like.

Accumulation factors may be positive or negative. Negative factors, for instance, include accumulation of doses of radiation or heavy metals in the human body. To the negative factors may also relate accumulated fatigue in metal, since this phenomenon frequently causes accidents and man-made disasters.

Systems and devices that carry out accumulation of various types of resources are: banks, capacitors, receivers, flywheels, copra, disk devices, solid state memory devices, or the like.

The methodological basis of innovative engineering is the choice and use of the resources needed to create a competitive product with new properties and characteristics sought by the market. Practical implementation of methods used in sequential creation of an innovation product is defined as the process of innovation. Together with the development and application of effective methods needed for creating innovations, it is necessary to provide appropriate training of innovative engineers. Methodological and educational segments of the innovative engineering are its main intangible resources. The development and use of these resources is a fundamental factor in increasing the efficiency of the innovation process.

References

1. Levkov K., Figovsky O. On the training of innovative engineers. Scientific Israel – Technological Advantages, vol. 12, No.4, 2010, pp. 179–186.
2. Levkov K.L., Figovsky O.L. Building a professional model of innovative engineer on the basis of an analysis of its activities. Conference Proceedings «Intercultural Ties in Higher Education and Academic Teaching». Ariel University Center of Samaria. 19 – 21.09.2011.

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Danilov Alexander Maksimovich,
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the
Russian Academy of Architectural and
Construction Sciences, Head of the department
«Mathematics and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

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

ОТРАСЛЕВЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Определяются место и роль системного анализа при разработке инженерно-теоретических основ строительства. Приводится статус малой, простой, большой и сложной систем. С позиций теории систем указываются системные атрибуты сложных систем, в том числе в области строительства. Даются приложения методов системного анализа к разработке композиционных материалов, проектированию конструкций, анализу и синтезу организационных систем.

Ключевые слова: строительство, сложные системы, анализ и синтез, методы, системный подход, приложения

SECTORAL ASPECTS OF THE SYSTEM ANALYSIS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

The place and the role of system analysis in the development of engineering and theoretical bases of construction are defined. The status of a small, simple, large and complex system is presented. System attributes of complex systems (from the standpoint of systems theory), including the field of construction are indicated. Application of system analysis methods to the development of composite materials, structural design, analysis and synthesis of organizational systems are presented.

Keywords: building, complex systems, analysis and synthesis, methods, systems approach, application

В последнее время при решении инженерно-технологических задач строительства и архитектуры все больше используются методы системного анализа [1...8], к сожалению, нередко без четкого понимания разницы между комплексным и системным подходом; часто сложные объекты без необходимых системных атрибутов также рассматриваются как системы. Ниже с учетом собственного опыта работы приводятся уточнения указанных понятий и некоторые приложения системного анализа к разработке сложных систем (композиционные материалы, конструкции, образовательная система и др.).

Существенным признаком малой системы является ее неделимость. Систему обычно считают большой, если пространство ее состояний имеет большую размерность. В большой системе может быть выделено некоторое количество элементов, которое может, в свою очередь, рассматриваться как система. Нередко

исследование большой системы можно свести (ее разбиением) к исследованию систем меньшей размерности. Отличительными *особенностями больших систем* являются:

- большое число элементов;
- взаимосвязь и взаимодействие между ее элементами;
- иерархичность структуры.

Нет четкой границы, отделяющей *простые системы* от больших; деление – условное и определяется наличием в составе системы совокупности подсистем (в том числе, с наличием функциональной избыточности). Предполагается, что простая система может находиться либо в состоянии работоспособности (исправном), либо в состоянии отказа (неисправном). При отказе элемента простая система либо полностью прекращает выполнение своей функции, либо продолжает ее выполнение в полном объеме, если отказавший элемент резервирован. В большой системе при отказе отдельных элементов и даже целых подсистем она может сохранять свою работоспособность, возможно со снижением характеристик ее эффективности. Это свойство больших систем обуславливается их *функциональной избыточностью* (затрудняется формулировка понятия «отказ системы»).

Если объект является составным и его части можно рассматривать как системы, связанные между собой заданными отношениями и объединенные в *единое целое*, то объект определяется как *сложная система*. Простые системы отличаются от сложных видом и направлением связей между элементами. В простых системах эти связи имеют последовательный (или попарный) характер. В сложных системах связи перекрестные (функционирование каждого элемента зависит от многих, а иногда и всех остальных элементов системы). Примером малой и простой системы может служить специализированная строительная бригада, выполняющая какой-либо один вид работы. Эта система *малая*, потому что в ее составе ограниченное количество элементов; *простая*, потому что в ее деятельности участвуют однородные предметы труда и рабочие одинаковой специальности. Комплексные же бригады представляют собой *малую, но сложную систему*, так как в нее входят рабочие многих специальностей, различные машины и предметы труда, а деятельность всех элементов взаимосвязана. Связи в этой системе имеют перекрестный характер, поэтому конечные результаты деятельности определяются в значительной мере качеством взаимодействия всех входящих в систему элементов.

Сложные системы отличаются:

- многоцелевым функционированием;
- значительной неопределенностью в описании системы и особенно ее взаимодействия со средой;
- сложностью иерархической структуры.

Сложными системами часто называют и системы, когда их корректное математическое описание практически невозможно. К ним относят также системы, имеющие значительное число взаимодействующих элементов с большими трудностями их формализации (неизвестна природа явлений, протекающих в системе).

Отличительные признаки системы указываются в теории систем. Это:

- *подчиненность системы некоторой цели*;
- *целостность* (каждый элемент системы вносит вклад в реализацию целевой функции системы);
- *наличие подсистем и связей между ними или наличие структуры системы*;
- *возможность обособления или абстрагирования от окружающей среды*, (относительная обособленность от тех факторов среды, практически не влияющих на достижение цели);
- *связь с окружающей средой*;
- *эмерджентность* (несводимость свойств системы к свойствам элементов);
- *сложность функционирования*;
- *нелинейность характеристик* (синергетика);
- *контринтуитивность* (выделение причины и следствия).

Целостность и эмерджентность — *интегративные свойства системы*. Так что при разработке сложных систем следует учитывать не только свойства составляющих элементов и подсистем, но и закономерности функционирования системы в целом. Возникает ряд специфических задач по определению общей структуры системы, организации взаимодействия между элементами и подсистемами; учету влияния внешней среды; выбору оптимальных режимов функционирования системы; оптимальному управлению системой. Математической базой исследования сложных систем и является теория систем.

Сложность системы определяется ее сложным поведением и зависит от принятого уровня описания (макроскопического или микроскопического). Сложность множества внутренних состояний (оценивается по проявлениям системы) и сложность управления системой определяется как внутренняя сложность, а сложность взаимоотношений с окружающей средой (оценивается по обратным связям системы и среды) — как внешняя сложность.

Сложной системой может быть и система, не являющаяся большой; существенным при этом может стать *связность* элементов и подсистем системы (любая часть системы рассматривается совместно с её связями с другими частями и окружающей средой).

Системный подход чаще всего используется для исследования *слабоструктурированных систем* при решении проблем, связанных с определением состава элементов и взаимосвязей в системе в условиях неопределенности, при наличии неформализуемых элементов (с практической невозможностью математического описания). Он позволяет рационально и целенаправленно изучать структуру и функционирование системы (*принцип функциональности*: приоритет функций над структурой — изменение функций влечёт изменение структуры). Как правило, предполагается *модульное построение* (рассмотрение системы как совокупности выделенных модулей) рассматриваемых систем при ее *иерархической структуре*. *Метод системного анализа* — это путь, способ решения проблемы; некоторая формализация, позволяющая получить такое решение.

Открытая система функционирует при постоянном взаимодействии со средой (не за счет стабилизации внутренних процессов). В *закрытой* системе взаимодействия происходят только внутри системы между ее структурными компонентами (более стабильна: не подвержена изменениям при взаимодействии с окружением). Возможен переход системы на более высокий уровень организации на основе механизмов саморегуляции и стабилизации. На практике *абсолютно* открытое или закрытое состояния системы не достигаются. Это хорошо видно на примере образовательной системы: учебный процесс в высшей школе — *большая, сложная система* (связь с наукой, техникой и производством со множеством компонентов и большим разнообразием их взаимоотношений, связей и противоречий). В частности, качество образования существенно зависит от потребности в знаниях специалистов на производстве. Неоднократно отмечалось, *без науки нет производства, без производства нет науки*; задача государства — разрешить это противоречие (иллюстрация открытой и закрытой системы). Оптимизация учебного процесса возможна *только по выделенным основным формальным признакам*, ограниченными своими характерными особенностями и конкретными задачами исследования. Так, введение в учебный процесс самостоятельной работы, новых методов и средств обучения требует не только его анализа в целом и составляющих его компонентов, но и индивидуального подхода ко всем студентам.

Формирование, развитие и функционирование системы определяются как *системо-могенез* (необходимое условие жизни системы); система вне системогенеза мертва (например, автомобиль без водителя). Модели, макеты, схемы систем и псевдосистем (отсутствует системогенез) рассматриваются на уровне отображений и информационных моделей. К псевдосистемам относятся и модели ввиду их неполноты.

Исходя из уровней научного познания, методы системного анализа определяются как эмпирические или теоретические. Первые характеризуются непосредственным исследованием реально существующих, чувственно воспринимаемых объектов (методы вычленения и исследования эмпирического объекта; обработки и систематизации

полученного эмпирического знания). Теоретический уровень характеризуется опосредствованным исследованием действительности с помощью систем абстракций высшего порядка (понятия, умозаключения, законы, категории, принципы и другие формы мыслительных операций). Системный анализ как прикладная дисциплина относится к теоретическим методам нижнего уровня (построение и исследование идеализированного объекта). Эмпирический уровень выступает в качестве основы, фундамента теоретического. Гипотезы и теории формируются в процессе теоретического осмысления научных фактов, статистических данных, получаемых на эмпирическом уровне. Эмпирическое исследование не может существовать без достижений теоретического уровня (опирается на определенную теоретическую конструкцию, которая определяет направление исследования, обуславливает и обосновывает применяемые методы). При принятии решений формальные математические методы используются на нижних уровнях иерархии в условиях большей определенности. По мере перехода на более высокие уровни количественная определенность в постановке и решении проблем уменьшается (цели, а также другие элементы системного анализа приобретают все более качественный характер). Задачи решаются в условиях повышенного риска и неопределенности с использованием субъективных методов анализа; здесь необходимо помнить, что истина в простоте, а простота – в немногословности и точности формулировок.

Моделирование производится для замещения одного объекта другим для получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала. Каждая модель создается для конкретной цели и, следовательно, уникальна. По наличию общих черт их можно сгруппировать в отдельные классы, что облегчает разработку и изучение.

В кибернетических (*функциональных*) моделях отображается только поведение, функция моделируемого объекта (черный ящик; физическая сущность объекта, природа протекающих в нем процессов, структура объекта остаются вне внимания). Модель строится по экспериментальным данным в виде некоторой математической функции. При *структурном* моделировании создаются и исследуются модели, структура которых (элементы и связи) подобна (относительно цели исследования) структуре моделируемого объекта.

В сложных случаях должен учитываться *синергетический эффект* факторов, их взаимодействие. В частности, пренебрежение уникальностью малых социальных групп и индивидов на уровне категорий: народ, нация, коллектив – может привести к неправильным прогнозам при анализе поведения в соответствующих группах населения. Аналогичная ситуация возникает и при разработке композиционных материалов (синергетические эффекты взаимодействия факторов; определяются коэффициентами регрессии). Чтобы принимать уникальность за пренебрежительно малую величину, нужны достаточные основания.

Приведем некоторые приложения теории систем к разработке строительных материалов, проектированию конструкций, зданий и сооружений, а также организационных систем. Так, в [9] приводится представление строительных материалов как систем (с позиций теории систем); определяются их системные атрибуты. Это позволило разработать в [10] методы управления качеством композиционных материалов специального назначения и схему синтеза [11] сложных систем различного назначения. Здесь предусматриваются когнитивное моделирование для разработки структуры, параметрическая идентификация и векторная оптимизация композиционных материалов как сложной системы. К сожалению, пока практически системный подход не используется для решения важной задачи по разработке способов предотвращения лавинообразного обрушения [12, 13] строительных конструкций. Правда, имеется положительный опыт использования методов системного анализа для когнитивного моделирования и составления виброкарты сложных конструкций [14]. Системный подход также успешно использовался для анализа и рейтинговой оценки деятельности ВУЗов как сложных организационных систем [15, 16], в том числе на основе хорошо разработанных экспертно-классификационных методов [17].

Список литературы

1. Системный анализ в строительном материаловедении: монография / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев. – М.: МГСУ: Библиотека научных разработок и проектов, 2012. – 432 с.
2. Чернышов, Е.М. Концепция, проблематика и структура современной системы управления качеством в производстве строительных материалов и изделий / Е.М. Чернышов // Известия КГАСУ. – 2005. – № 2 (4). – С.11–14.
3. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>
4. Выровой, В.Н. Структура, свойства, состояния / В.Н. Выровой, А.Н. Гергега // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекамсервіс, 2007. – Вип. № 27. – С.78–84.
5. Garkina, I. Analytical design of building materials / I.Garkina, A. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
6. Воробьев, В.А. Основные задачи компьютерного материаловедения строительных композитов / В.А. Воробьев, А.В. Илюхин // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С.19–21.
7. Данилов, А.М. Методология проектирования сложных систем при разработке материалов специального назначения / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 1. – С. 80–85.
8. Garkin, I. Systems approach to technical expertise construction of buildings and facilities / I. Garkin, I. Garkina. // Contemporary Engineering Science. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 213–217. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5114>
9. Данилов, А.М. Строительные материалы как системы / А.М. Данилов, Е.В. Королев, И.А. Гарькина // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С. 55–57.
10. Гарькина, И.А. Управление качеством материалов со специальными свойствами / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–74.
11. Скачков, Ю.П. Модификация метода ПАТТЕРН к решению архитектурно-строительных задач / Ю.П. Скачков, А.М., Данилов И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 1. – С. 4–9.
12. Харитонов, В.А. Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий: монография / В.А. Харитонов. – М.: АСВ, 2014. – 352 с.
13. Назаров, Ю.П. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях / Ю.П. Назаров, А.С. Городецкий, В.Н. Симбиркин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – №4. – С. 5–9
14. Данилов, А.М. Управление объектами на подвижном основании: оптимизация конструктивной и структурной схем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 102–108.
15. Данилов, А.М. ВУЗ как система / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 3 (24). – С. 138–142.
16. Данилов, А.М. Образовательная система с позиций идентификации и управления / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 143–146.
17. Дорофеюк, А.А. Методология экспертно-классификационного анализа в задачах управления и обработки сложноорганизованных данных (история и перспективы развития) / А.А. Дорофеюк // Проблемы управления. – 2009. – № 3.1. – С. 19–28.

References

1. Garkina I.A., Danilov A.M. Experience in the development of composite materials: some aspects of mathematical modeling / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Proceedings of the universities. Construction. – 2013. – №8 (656). – P.28–33.

2. Chernyshov, E.M. The concept and structure of the problems of modern quality management system in the production of building materials and products / E.M. Chernyshov // *News KGASU*. – 2005. – № 2 (4). – P.11–14.
3. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>
4. Vyrovoy, V.N. Structure, properties, condition / V.N. Vyrovoy, A.N. Gerega // *Bisnik Odeska derzhavnoi akademii budivnitstva that arhitekturi, VIP*. – Odes: Zovnishreklamservic, 2007. – № 27. – P.78–84.
5. Garkina, I. Analytical design of building materials / I.Garkina, A. Danilov // *Journal of Basic and Applied Research International*. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
6. Vorobyov, V.A. The main objectives of computer-mate rialovedeniya building composites / V.A. Vorobyov, A.V. Ilyukhin // *Building materials*. – 2006. – № 7. – P.19–21.
7. Danilov, A.M. Methodology for the design of complex systems at development of special materials / A.M.Danilov, I.A. Garkina. // *Proceedings of the universities. Construction*, 1 (2011), 80-85.
8. Garkin, I. Systems approach to technical expertise construction of buildings and facilities / I. Garkin, I. Garkina. // *Contemporary Engineering Science*. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 213–217. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5114>
9. Garkina, I.A. Building materials as systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.V. Korolev // *Building materials*. – 2006. – №7. – P. 55–58.
10. Garkina, I.A. Management of quality materials with special properties / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Control problems*. – 2008. – № 6. – P. 67–74.
11. Skachkov, Yu.P. A modification of PATTERN method to solving of architectural-building problems / Yu.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garkina // *Regional architecture and engineering*. – 2011. – № 1. – P. 4–9.
12. Kharitonov, V.A. Design, construction and operation of high-rise buildings: a monograph / V.A. Kharitonov. – M.: Publishing DIA, 2014. – 352 p.
13. Nazarov, Yu.P. On the problem of ensuring the survivability of building structures during emergency actions / Yu.P. Nazarov, A.S. Gorodetsky, V.N. Simbirkin // *Building mechanics and calculation of constructions*. – 2009. – No4. – P. 5–9.
14. Danilov, A.M. Facility Management on a movable base: optimization of constructive and structural schemes / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin // *Regional architecture and engineering*. – 2014. – № 3. – P. 102–108.
15. Danilov, A.M. University as a system / A.M. Danilov, I.A. Garkina, A.A. Kiselev // *Regional architecture and engineering*. – 2015. – № 3 (24). – P.138–142.
16. Danilov, A.M. Education system from the point of identification and control / A.M. Danilov, I.A. Garkina // *Regional architecture and engineering*. – 2013. – № 2. – P. 143–146.
17. Dorofeyuk, A.A. Methodology expert-classification analysis in highly organized data management and processing problems (history and development prospects) / A.A. Dorofeyuk // *Control problems*. – 2009. – № 3.1 – P. 19–28.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Васин Леонид Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: leo@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Vasin Leonid Anatolevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the department «Information and
computing systems»
E-mail: leo@pguas.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГИБРИДНОЙ КЛАСТЕРНОЙ ПЛАТФОРМЕ

Л.А. Васин

Показана возможность использования непозиционной системы счисления для организации распределенных вычислений на вычислительных кластерах. Использование множества вычислительных модулей дает возможность параллельного выполнения арифметических операций для каждой группы вычислений. Рассматривается организация вычислительного процесса при гибридном построении кластера.

Ключевые слова: вычислительный кластер, система остаточных классов, GPU, CPU, CUDA

THE USE OF A MODULAR NUMBER SYSTEM FOR DISTRIBUTED COMPUTING ON HYBRID CLUSTER PLATFORM

L.A. Vasin

The paper presents the possibility to use nonpositional number system in the organization of distributed computing on computer clusters. The use of multiple compute modules enables parallel execution of arithmetic calculation for each group. The organization of the computational process in the hybrid construction cluster is discussed.

Keywords: computing cluster, the system of residual classes, GPU, CPU, CUDA

Существует множество прикладных задач, требующих значительных вычислительных ресурсов для их расчетов. Развитие технологий построения аппаратных платформ, организации распределенных и параллельных вычислений и организации данных привели к возможности использования нескольких подходов к ускорению вычислительного процесса: аппаратного уровня и уровня организации данных. С аппаратной точки зрения, традиционное использование состоит в применении многопроцессорных вычислительных систем, однако это накладывает некоторые ограничения на количество процессоров, реализуемых производителем на той или иной аппаратной платформе. Кластерный тип вычислительных систем позволяет реализовывать высокопроизводительные вычислительные системы с большим количеством процессоров благодаря использованию множества многопроцессорных вычислительных узлов. Кроме построения вычислительных узлов на основе CPU, возможно использование гибридной схемы CPU и GPU, в которой применяется технология CUDA. Программно-аппаратная технология на массивно-параллельных процессорах CUDA позволила использовать большое количество вычислительных ядер CPU в организации вычислительного кластера. Основной моделью организации распределенных вычислений на кластерных платформах является модель передачи сообщений, стандартом которой являются OpenMP и разработанный интерфейс передачи сообщений

MPI. Они позволяют организовать распределенное программирование для решения задачи на кластерной платформе. Использование модульных форматов данных позволяет использовать особенности непозиционных (модульных) систем счисления, которые обладают рядом преимуществ при использовании в параллельных вычислительных системах, таких, как высокая скорость за счет отсутствия переноса, уменьшение количества оперируемых данных за счет более простого представления чисел.

В настоящее время перспективной непозиционной системой счислений (НСС) считается система остаточных классов (СОК), основанная на получаемом в результате операции деления с остатком (по модулю) наборе простых чисел, которые получили название «основание системы счисления». Любое число можно представить в СОК путем деления с остатком на заранее выбранные модулярные основания; таким образом, получатся остатки (вычеты) a_1, a_2, \dots, a_n , которые являются простыми и малоразрядными числами.

Модулярная арифметика, представленная как СОК, основывается на «Китайской теореме об остатках» [1] и понятии вычетов [2]. Для любой системы взаимно простых чисел p_1, \dots, p_n любое число X из диапазона $[0; M)$, где $M = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n$, взаимнооднозначно представимо в виде вектора (a_1, a_2, \dots, a_n) , где $a_i = X \% p_i$ («%» – операция взятия остатка от целочисленного деления X на p_i).

p_1, \dots, p_n – модули системы.

a_1, a_2, \dots, a_n – остатки (вычеты) числа по заданной системе модулей.

Ввиду способности СОК к естественному параллелизму чисел является перспективным ее использование на кластерных платформах, так как каждый остаток получается параллельно, независимо от другого и суммарно остатки позволяют идентифицировать число и эффективно работать с многоразрядными числами. Вычислительный процесс с использованием СОК выполняется следующим способом:

1. Ввод чисел в позиционной системе счисления (ПСС).
2. Преобразование из ПСС в НСС.
3. Выполнения арифметических операций с основаниями.
4. Преобразование получившегося числа в НСС в ПСС.
5. Вывод результата.

Применительно к кластерной вычислительной системе преобразование, а затем выполнение арифметической операции, производится на каждом вычислительном узле кластера. На каждом ядре узла вычислительного кластера производятся арифметические операции с основанием чисел. Для расширения диапазона представления чисел следует увеличить число или значение оснований. Это может привести к превышению количества одновременно вычисляемых ядер вычислительного кластера при выполнении арифметических операций в базисе СОК.

Для увеличения количества вычислительных ядер вычислительного кластера можно использовать возможности графических процессоров в комбинации любого количества вычислительных узлов CPU и GPU. Такая вычислительная система получила название гибридной – вычислительная система с гетерогенной аппаратной вычислительной структурой [3]. Основной характеристикой GPU является высокая вычислительная мощность, обусловленная большим количеством вычислительных ядер, чем в традиционных CPU [3], у которых существует собственная память небольшой емкости. Такие ядра способны выполнять большое количество одновременных параллельных программных потоков. Сравнивая возможности CPU и GPU и архитектуры, можно говорить об ориентированности процессоров для выполнения разного класса задач (CPU – последовательные, GPU – параллельные операции). Высокие вычислительные способности GPU объясняются наличием большого количества вычислительных ядер, например GPU NVIDIA GK110 с архитектурой Kepler имеет 15 мультипроцессоров, каждый из которых имеет 192 ядра для операций одинарной точности.

Модель решения задач на GPU основана на использовании множества потоков данных. Каждый поток разделяется на множества инструкций (нитей), которые и выполняются мультипроцессорами.

До появления GPU с высокой вычислительной способностью основным способом построения вычислительных кластеров было использование одно- или многопроцессорных вычислительных узлов, реализованных с помощью blade-технологии с их группировкой в пределах одного шасси. Использование же гибридной схемы

построения вычислительного кластера позволяет значительно увеличить количество вычислительных ядер в его узлах.

Поэтому является перспективным использовать такую особенность гибридного кластера, как наличие вычислительно-ориентированных частей, и разделить процесс выполнения модулярных вычислений на модулярную составляющую и немодулярную. В модулярную составляющую входят все арифметические операции, производимые с основаниями чисел в базе СОК. К немодулярным относится в первую очередь преобразования чисел в НСС, определение знака, округление, получение значения вычетов.

При такой организации происходит разделение частей вычислительного процесса с использованием гибридных кластеров на НСС и ПСС. Вычислительный процесс предлагается организовать следующим образом (см. рисунок):

1. Ввод чисел в позиционной системе счисления (ПСС).
2. Преобразование из ПСС в НСС на CPU вычислительных узлов кластера.
3. Выполнение арифметических операций с основаниями на GPU кластера.
4. Преобразование получившегося числа в НСС в ПСС на CPU вычислительных узлов кластера.
5. Вывод результата.

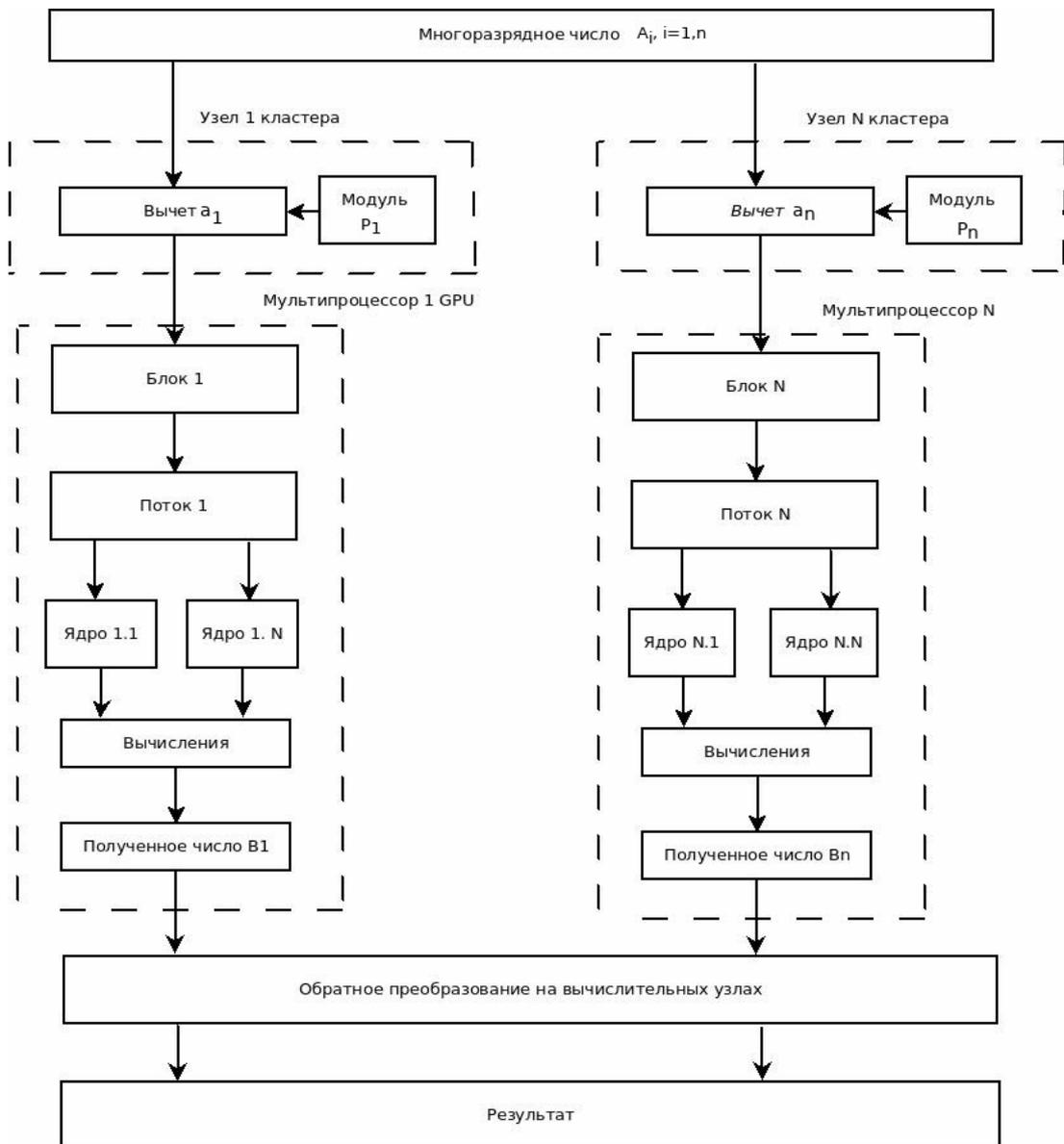


Схема организации вычислительного процесса на гибридных кластерах

Выполнение вычислительного процесса происходит следующим образом. Данные поступают на CPU вычислительного узла, где происходит операция преобразования в СОК на основе заранее выбранных модулей. Количество модулей можно варьировать в зависимости от количества организованных вычислительных потоков для блоков и в зависимости от архитектуры GPU. После преобразования чисел общий поток данных представлен в массиве блоков, последовательно поступает на потоковых мультипроцессорах GPU под управление планировщика. Планировщик также может регулировать количество потоков на каждый блок. Внутри блока потоки данных обрабатываются параллельно на потоковых ядрах. Все арифметические операции проводятся с основаниями СОК. Каждое вычислительное ядро обладает сравнительно небольшим количеством памяти, что больше подходит для работы с вычетами, так как позволяет уменьшить временную сложность вычислений за счет работы с более простыми и малоразрядными числами. На каждом мультипроцессоре проводятся только арифметические операции в СОК-базисе для вычетов. Поэтому преимуществом подобной организации вычислительного процесса является использование GPU при обработке чисел, представленных в модулярном формате.

Выводы

1. Использование GPU позволяет организовывать вычислительный процесс с использованием непозиционной системы счисления НСС.
2. Применение гибридной схемы построения вычислительных кластеров позволит использовать возможности графических процессоров только для работы с числами, представленными в СОК.

Список литературы

1. Применение искусственных нейронных сетей и системы остаточных классов в криптографии: моногр. / Н.И. Червяков, А.А. Евдокимов, А.И. Галушкин, И.Н. Лавриенко. – М.: Физматлит, 2012. – 280 с.
2. Просветов, Г.И. Теория чисел: задачи и решения / Г.И. Просветов. – М.: Альфа-Пресс, 2010. – 69 с.

References

1. Application of artificial neural networks and the system of residual classes in cryptography: monograph. / N.I. Chervaykov, A.A. Evdokimov, A.I. Galushkin, I.N. Lavrienko. – M.: Fizmatlit, 2012. – 280 p.
2. Prosvetov, G. I. the Theory of numbers: Adachi and solutions / G.I. Prosvetov. – M.: Alpha-Press, 2010. – 69 p.

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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор
кафедры "Информационно-
вычислительные системы"
E-mail: koshev@pguas.ru

Сухов Иван Филиппович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Механика»
E-mail: koshev@pguas.ru

Васин Леонид Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: leo@pguas.ru

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

Alexander Nikolaevich Koshev,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Information and computing
systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

Sukhov Ivan Filippovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Mechanics»
E-mail: koshev@pguas.ru

Vasin Leonid Anatolevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the department «Information and
computing systems»
E-mail: leo@pguas.ru

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНЫХ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОКОВ

А.Н. Кошев, И.Ф. Сухов, Л.А. Васин

Рассматриваются эффективные схемы соединения электрохимических реакторов для извлечения тяжелых и цветных металлов из отработанных растворов гальванических производств. Получены формулы для оценки времени и производительности работы реакторов при заданной степени извлечения металлов для достижения требуемой эффективности процесса или предельно допустимой концентрации.

Ключевые слова: математическая модель, проточный трехмерный электрод, многокомпонентный электролит, динамика осаждения металла, удельная электропроводность, углеродный волокнистый материал

CALCULATION OF EFFECTIVE CONNECTION OF REACTORS FOR PURIFICATION OF ELECTROPLATING WASTEWATER

A.N. Koshev, I.F. Sukhov, L.A. Vasin

The paper discusses the effectiveness of connection of electrochemical reactors for removal of heavy and non-ferrous metals from waste solutions of electroplating plants. They have got formulas for estimating the time and performance of reactors for a given degree of extraction of metals to achieve the required process efficiency or maximum allowable concentrations.

Keywords: mathematical model, flow three-dimensional electrode composite, the electrolyte, the dynamics of metal deposition, electrical conductivity, carbon fibrous material

ВВЕДЕНИЕ

Для интенсификации процессов электроосаждения металлов из отработанных растворов гальванических производств с низкой концентрацией электроактивных компонентов наиболее перспективными являются электрохимические реакторы с большой удельной площадью реакционной поверхности электродов и высокими значениями коэффициентов массопереноса [1–3]. К таким электродам относятся проточные трехмерные электроды (ПТЭ) из углеродных волокнистых материалов различных модификаций [1–5]. Известные разработки конструкций электролизеров и технологий их эксплуатации позволяют выделять классы задач по извлечению металлов,

конкретные типы аппаратов и технологии их эксплуатации [1–5]. Однако при использовании систем реакторов необходимы расчет и оптимизация конструкционных особенностей и технологических режимов как отдельных аппаратов, так и соединений электролизеров и режимов их эксплуатации.

В качестве основных методов решения указанных выше проблем авторами были выбраны методы физико-математического моделирования как индивидуальных электрохимических процессов, так и схем соединения электролизеров и емкостей с обрабатываемым раствором. При этом необходима оптимизация параметров процесса с учетом изменения во времени свойств системы электрод – раствор, а также параметров элементов технологических схем: объемов емкостей, характеристик электролизеров, режимов подачи электролита и др.

В данной статье рассмотрены математические модели расчета циркуляционной технологической схемы электроосаждения металлов на ПТЭ из однокомпонентного электролита. Приведены математические модели для расчета различных схем соединения электрохимических реакторов при электроосаждении металлов из поликомпонентного электролита, а также алгоритмы расчета режимов эффективного функционирования систем электролизеров.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАБОТЫ КАСКАДОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

В настоящее время основными способами организации процесса электролиза в электролизерах с проточными трехмерными электродами являются: циркуляционная, прямоточная или комбинированная схема движения раствора между электролизером и емкостью с обрабатываемым электролитом [1–5]. Одна из возможных схем цепи аппаратов и емкостей для электролиза в реакторе с ПТЭ при циркуляционном режиме показана на рис. 1.

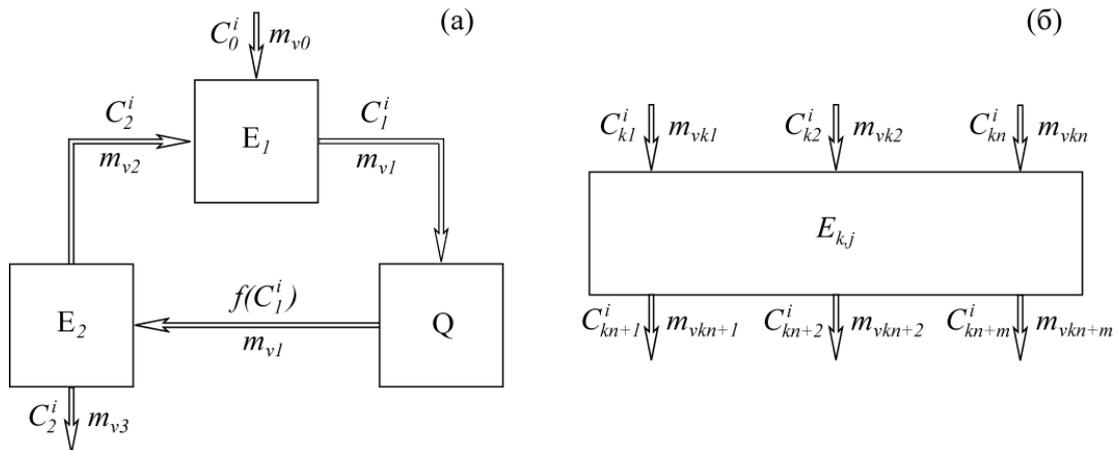


Рис. 1. Циркуляционная схема процесса электроосаждения металла:

а – ячейка каскада, содержащая электролизер; б – емкость для соединения ячеек в каскаде;

C^i – концентрации i -го компонента; m_v – объемные скорости протока электролита;

E – емкости; Q – электролизер

Отметим, что схемы, приведенные на рис. 1, позволяют рассматривать случаи прямоточного, циркуляционного и комбинированного способов подачи раствора в электролизер.

Рассмотрим схему, показанную на рис. 1а. Запишем в дискретной форме законы сохранения для объемов раствора W_1 , W_2 и количества ионов металла в емкостях E_1 , E_2 с учетом осажденного металла в электролизере в моменты времени t и $t+\Delta t$, где Δt – малое приращение времени. Считаем известной производительность электролизера $Q = f(C^i)$. Следовательно, известна и концентрация ионов i -го металла в растворе после его прохождения через электролизер $C_2^i = f(C_1^i)$, если на входе в электролизер

концентрация была C_1^i . Очевидно, что значения C_1^i , C_2^i должны быть равными значениям концентрации ионов металла в емкостях E_1, E_2 .

Заметим, что все концентрации в общем случае должны рассматриваться как функции от времени t , однако в некоторых случаях могут быть заданы постоянными.

Получим следующую систему алгебраических уравнений, связывающих объемы растворов и количества веществ в емкостях E_1, E_2 :

$$\begin{cases} W_1(t + \Delta t) = W_1(t) + m_{v_0}(t)\Delta t - m_{v_1}(t)\Delta t + m_{v_2}(t)\Delta t \\ W_2(t + \Delta t) = W_2(t) + m_{v_1}(t)\Delta t - m_{v_2}(t)\Delta t + m_{v_3}(t)\Delta t \\ C_1^i(t + \Delta t) \cdot W_1(t + \Delta t) = C_1^i(t) \cdot W_1(t) + C_0^i(t) \cdot m_{v_0}(t)\Delta t - C_1^i(t) \cdot m_{v_1}(t)\Delta t + C_2^i(t) \cdot m_{v_2}(t)\Delta t \\ C_2^i(t + \Delta t) \cdot W_2(t + \Delta t) = C_2^i(t) \cdot W_2(t) + C_1^i(t) \cdot m_{v_1}(t)\Delta t - C_2^i(t) \cdot m_{v_2}(t)\Delta t + C_3^i(t) \cdot m_{v_3}(t)\Delta t \end{cases}$$

Группируя выражения в данных уравнениях и переходя к пределу по $\Delta t \rightarrow 0$, получаем систему дифференциальных уравнений, описывающих материальный баланс в ячейке каскада:

$$\begin{cases} \frac{dW_1}{dt} = m_{v_0} - m_{v_1} + m_{v_2} \\ \frac{dW_2}{dt} = m_{v_1} - m_{v_2} - m_{v_3} \\ \frac{dC_1^i W_1}{dt} = C_0^i m_{v_0} - C_1^i m_{v_1} + C_2^i m_{v_2} \\ \frac{dC_2^i W_2}{dt} = f(C_1^i(t))m_{v_1} - C_2^i m_{v_2} - C_3^i m_{v_3} \end{cases} \quad (1)$$

Заметим, что известными функциями в приведенных уравнениях являются: $m_{v_i}(t)$, $C_0^i(t)$ и вид зависимости $f(C_1^i(t))$.

Если обрабатываемый раствор содержит один извлекаемый металл, то система (1) состоит из четырех дифференциальных уравнений для определения четырех неизвестных функций. В общем случае, когда извлекается n металлов, получим систему из $2+2n$ уравнений и столько же неизвестных функций. При решении системы необходимо использовать естественные начальные условия на объемы раствора и начальные значения концентраций ионов металлов в емкостях E_1, E_2 .

Аналогично рассуждая, можно записать систему из $(n+1)$ -го дифференциального уравнения, описывающую сохранение объема – W_{kj} и количества веществ – $W_{kj} \cdot C_{kj}^i$ в соединительной емкости (рис. 1б):

$$\begin{cases} \frac{dW_{kj}}{dt} = \sum_{j=1}^n m_{vk,j} - \sum_{l=1}^m m_{vk,n+l} \\ \frac{dW_{kj} \cdot C_{kj}^i}{dt} = \sum_{j=1}^n C_{kj}^i m_{vk,j} - \sum_{l=1}^M C_{kj}^i m_{vk,n+l} \end{cases} \quad (2)$$

Очевидно, при решении система (2) должна быть дополнена естественными начальными условиями.

После того как построены математические модели для описания схем на рис. 1а, 1б, можно компоновать математические описания более сложных схем соединения электролизеров в каскады. Рассмотрим, например, каскадную схему электролизеров с ПТЭ для раздельного извлечения двух металлов, ионы которых присутствуют в растворе (рис. 2). При этом будем предполагать, что характеристики электролизеров Q_1 и Q_2 подобраны таким образом, что в первом электролизере извлекается преиму-

щественно металл с более положительным равновесным электродным потенциалом, а во втором – с более отрицательным. Электролизер Q_3 предназначен для доизвлечения обоих металлов в виде сплава без их разделения.

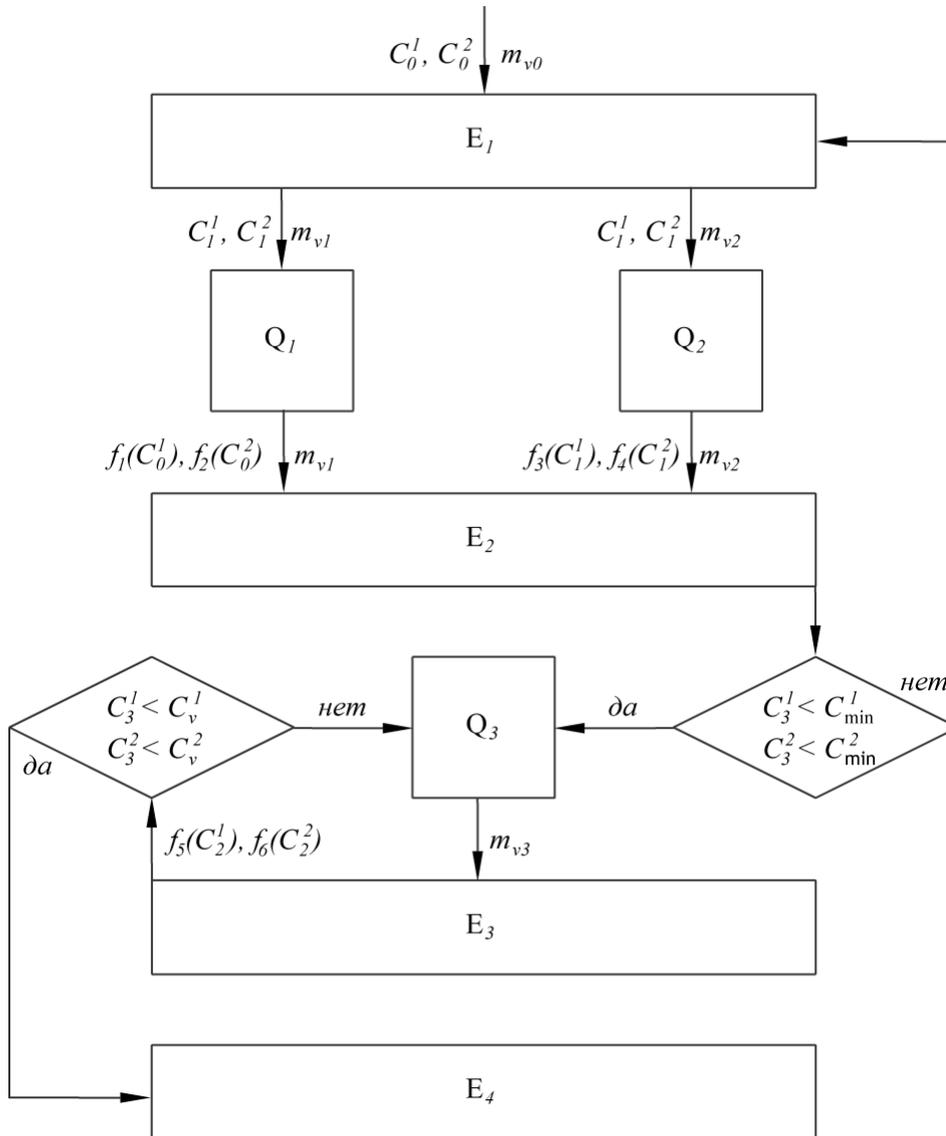


Рис.2. Каскадная схема электролизеров для раздельного извлечения двух металлов:
 C^i – концентрации i -го компонента; m_v – объемные скорости протока электролита; E – емкости;
 Q – электролизеры; C_v^i – допустимая концентрация i -го компонента на выходе из электролизера E_3

Используя математические описания для схем соединения электролизеров и емкостей, можно сформировать следующую систему дифференциальных уравнений, соответствующую схеме, приведенной на рис. 2:

1. Группа уравнений типа (2) для емкости E_1 .
2. Группа уравнений типа (1) для электролизера Q_1 .
3. Группа уравнений типа (1) для электролизера Q_2 .
4. Группа уравнений типа (2) для емкости E_2 .
5. Группа уравнений типа (1) для электролизера Q_3 .
6. Группа уравнений типа (2) для емкости E_2 .

Всего в такой системе будет присутствовать 27 дифференциальных уравнений и 27 искоемых функций. Ввиду громоздкости, развернутый вид системы здесь не приводится.

Рассмотрим структуру уравнений в системах (1), (2). В общем случае эти системы нелинейные из-за вхождения в них произведений неизвестных функций вида: $C_k^i(t) \cdot W_k(t)$ и $f(C_k^i(t))$. В то же время, так как известны функции $m_{vk}(t)$, функции $W_k(t)$ можно определить из первых двух уравнений группы (1) и первого уравнения группы (2), а затем подставить найденные функции в остальные уравнения системы (1), (2), тем самым убрав нелинейности, связанные с произведением $C_k^i(t) \cdot W_k(t)$.

Производительность электролизера с ПТЭ удобно оценивать с помощью так называемой степени извлечения металла:

$$R = 1 - \frac{C_L}{C_0}, \quad (3)$$

где C_0, C_L – значения концентрации определенного металла на входе в электролизер и на выходе из электролизера соответственно.

Если степень извлечения задана, то из соотношения (3) легко получить:

$$f(C_k^i(t)) = (1 - R) \cdot C_k^i(t), \quad (4)$$

после чего можно приступать к решению уравнений, описывающих работу системы электролизеров и емкостей.

РАСЧЕТ КАСКАДА ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрим случай, когда скорости потоков электролита m_{v1}, m_{v2} и m_{v3} приняты равными, что соответствует наиболее распространенной технологии рециркуляции. При таком предположении можно считать, что объемы W_1, W_2 емкостей E_1, E_2 постоянны. В этом технологическом варианте уравнения группы (1) при $i = 1, 2$ можно записать в виде:

$$\begin{cases} \frac{dC_1^i W_1}{dt} = m_v (-C_1^i + C_2^i) \\ \frac{dC_2^i W_2}{dt} = m_v (f(C_1^i) - C_2^i) \end{cases} \quad (5)$$

И, с учетом выбранного вида функции f – (4), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dC_1^i}{dt} = \frac{m_v}{W_1} C_2^i - \frac{m_v}{W_1} C_1^i \\ \frac{dC_2^i}{dt} = \frac{m_v}{W_2} ((1-R^i)C_1^i - \frac{m_v}{W_2} C_2^i) \end{cases} \quad (6)$$

Система четырех линейных дифференциальных уравнений (5), (6) состоит из двух независимых систем, описывающих схемы работы электролизеров Q_1 и Q_2 . Эти системы могут быть решены аналитически, посредством нахождения характеристических уравнений и их корней для каждой системы. Опуская промежуточные выкладки, выпишем общий вид решения каждой системы:

$$C_1^i(t) = A_1^i \exp(-K_1^i t) + B_1^i \exp(-K_2^i t), \quad C_2^i(t) = A_2^i \exp(-K_1^i t) + B_2^i \exp(-K_2^i t). \quad (7)$$

Здесь A_j^i, B_j^i, K_j^i – константы, получающиеся при решении системы.

Из соотношений (7) нетрудно вывести оценки на время процесса t_{\min} , необходимое для понижения концентраций извлекаемых металлов в электролите до требуемых значений C_{\min}^i :

$$|C_1^i(t)| \leq C_{\min}^i; \quad |C_2^i(t)| \leq C_{\min}^i$$

при

$$t_{\min}^i \geq \frac{1}{\min(K_1^i, K_2^i)} \ln \frac{2}{C_{\min}^i} (\max(A_1^i, A_2^i, B_1^i, B_2^i)) \quad (8)$$

В качестве общего времени процесса можно взять $T = \max(t_{\min}^1, t_{\min}^2)$.

После понижения концентрации металлов в емкостях E_1, E_2 до заданных значений включается процесс рециркуляции электролита через электролизер \mathcal{E}_3 и емкость E_3 , где производится доизвлечение металлов M_1 и M_2 до предельно допустимых концентраций, когда раствор в зависимости от общего технологического процесса предприятия: 1) может быть возвращен в технологический процесс (при его необходимой корректировке по активным компонентам); 2) соответствует промышленным сточным водам и направляется на обезвреживание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведены математические модели для расчета циркуляционных режимов и каскадов электролизеров при электроосаждении металлов из отработанных растворов электролитов гальванических производств. Математические модели представляют собой замкнутые, относительно начальных условий, системы дифференциальных уравнений, решение которых относительно неизвестных функций – концентраций ионов металлов, объемов емкостей, участвующих в соединительных схемах каскадов электролизеров, – позволяет рассчитывать и оптимизировать параметры электролизеров и процессов осаждения ионов металлов. Получены аналитические зависимости и разработаны алгоритмы для расчетов параметров электролизеров и условий электролиза при заданной степени извлечения металлов. Предложены формулы для расчета остаточных концентраций ионов металлов в различные периоды работы аппаратов, а также необходимого времени работы электролизеров для получения требуемых результатов процесса.

Список литературы

1. Варенцов, В.К. Электролиз с объемно-пористыми проточными электродами в гидрометаллургии благородных металлов / В.К. Варенцов // Известия СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1984. – № 17. – Вып. 6. – С. 106–120.
2. Варенцов, В.К. Электрохимические реакторы с УВЭ: разработка и использование / В.К. Варенцов // Химия в интересах устойчивого развития. – 1997. – № 2. – С. 147–154.
3. Варенцов, В.К. Электролиз с проточными углеграфитовыми электродами в решении вопросов извлечения благородных металлов из отходов ювелирного производства / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – № 3. – С. 293–302.
4. Фиошин, М.Я. Электрохимические системы в синтезе химических продуктов / М.Я. Фиошин, М.Г. Смирнова. – М.: Химия, 1985. – 256 с.
5. Варенцов, В.К. Современные проблемы технической электрохимии. Электрохимические реакторы и процессы с проточными углеродными электродами / В.К. Варенцов. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 123 с.
6. Кошев, А.Н. Анализ математических моделей и теория распределения поляризации проточных объемно-пористых электродов / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, М.А. Чиркина // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 441–448.

7. Математическое моделирование и теория распределения поляризации в электрохимических реакторах с проточными объемно-пористыми катодами / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, М.А. Чиркина, В.Г. Камбург // Математическое моделирование. – 2011. – Т.23, №8. – С.110–117.

8. Процессы в пористом электроде в случае распределенной скорости потока электролита / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, И.Ф. Сухов, И.Г. Гвоздева // Математическое моделирование. – 2013. – Т.24, №2. – С.97–110.

References

1. Varentsov, V.K. Electrolysis with volumetric porous flow electrodes in hydrometallurgy of precious metals / V.K. Varentsov // *Izvestia of SB as USSR. Ser. chem. Sciences.* – 1984. – No. 17. – Vol. 6. – P. 106–120.

2. Varentsov, V.K. Electrochemical reactors with fibrous carbon electrodes: development and use / V.K. Varentsov // *Chemistry for Sustainable Development.* – 1997. – No. 2. – P. 147–154.

3. Varentsov, V.K. Electrolysis with carbon flow electrodes for solving the issues of recovery of precious metals from wastes of jeweller production / V.K. Varentsov, V.I. Varentsova // *Chemistry for Sustainable Development.* – 2004. – No. 3. – P. 293–302.

4. Fioshin, M.Ya. Electrochemical systems in the synthesis of chemical products / M.Ya. Fioshin, M.G Smirnova. – M.: Chemistry, 1985. – 256 p.

5. Varentsov, V.K. Modern problems of technical chemistry. Electrochemical reactors and processes with flow-through carbon electrodes / V.K. Varentsov. – Novosibirsk: NSTU, 2007. – 123 p.

6. Koshev, A.N. Analysis of mathematical models and the theory of distribution of polarization of the flowing volumetric-porous electrodes / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, M.A. Chirkina // *Protection of Metals and Physicals Chemistry of Surfaces.* – 2009. – Vol. 45, No. 4. – P. 441–448.

7. Mathematical modeling and the theory of distribution of polarization in electrochemical reactors with flowing volume-porous cathodes / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, M.A. Chirkina, V.G. Kamburg // *Mathematical Models and Computer Simulations.* – 2011. – Vol. 23, No. 8. – P. 110–126.

8. Processes in the Porous Electrode: Case of Distributed Flow-Through Electrolyte Velocity / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, I.F. Sukhov, I.G. Gvozdeva // *Mathematical Models and Computer Simulations.* – 2013. – Vol. 24, No. 2. – P. 429–438.

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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор
кафедры "Информационно-
вычислительные системы"
E-mail: koshev@pguas.ru

Сухов Иван Филиппович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Механика»
E-mail: koshev@pguas.ru

Васин Леонид Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: leo@pguas.ru

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

Alexander Nikolaevich Koshev,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Information and computing
systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

Sukhov Ivan Filippovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Mechanics»
E-mail: koshev@pguas.ru

Vasin Leonid Anatolevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the department «Information and
computing systems»
E-mail: leo@pguas.ru

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА С ПРОТОЧНЫМИ ТРЕХМЕРНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ В РЕЖИМЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ДИФФУЗИОННОГО ТОКА

А. Н. Кошев, И.Ф. Сухов, Л.А. Васин

Получены математические модели, алгоритмы и формулы для расчета габаритной плотности тока и толщины проточного трехмерного электрода для обеспечения работы всего электрода в режиме предельного диффузионного тока на протяжении всего процесса электроосаждения металла. Приведено решение задачи по расчету параметров процесса электролиза в случае каскадного соединения электрохимических реакторов.

Ключевые слова: проточный трехмерный электрод, предельный диффузионный ток, электроосаждение металлов, математическая модель

CALCULATION OF PARAMETERS OF OPERATION OF THE REACTOR WITH IN 3D FLOW ELECTRODE IN LIMITING DIFFUSION CURRENT MODE

A.N. Koshev, I.F. Sukhov, L.A. Vasin

The authors have obtained mathematical models, algorithms, and formulas for calculation of overall current density and thickness of a flowing three-dimensional electrode to ensure the operation of the electrode to limit the diffusion of current throughout the process of electrodeposition of metal. The task of calculating the parameters of the electrolysis process in the case of cascade connection of electrochemical reactors is given.

Keywords: flow-type three-dimensional electrodes, limiting diffusion current, electrodeposition of metals, mathematical model

ВВЕДЕНИЕ

Методы определения условий, обеспечивающих работу электролизеров с проточными трехмерными электродами (ПТЭ) в режиме предельного диффузионного тока по ионам извлекаемых металлов, постоянно обсуждались в литературе ввиду актуальности задачи [1–5]. Наряду с величиной тока, обуславливающей работу всего объема электрода на предельном диффузионном токе, внимание уделяется толщине элект-

трода, обеспечивающей такой режим электролиза. При этом, как правило, рассматриваются стационарные условия и режимы осаждения при постоянной габаритной плотности тока, что может приводить к ухудшению технологических показателей процесса – уменьшению выхода по току, увеличению расхода электроэнергии на целевой процесс.

В настоящей статье представлены результаты математического моделирования процессов электроосаждения металла на ПТЭ в режиме предельного диффузионного тока при нестационарном состоянии системы электрод – раствор. Разработан алгоритм вычисления величины габаритной плотности тока, позволяющей поддерживать работу ПТЭ при разряде ионов металла на предельном диффузионном токе на протяжении всего электрохимического процесса с учетом изменения параметров системы электрод – раствор. Приведены также алгебраические формулы для расчета параметров процессов извлечения металлов в реакторах с ПТЭ, объединенных в каскадные схемы.

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ РАБОТЫ ПТЭ В РЕЖИМЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ТОКА В СТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрим стационарную модель распределения поляризации – E , плотности тока – j_s , концентрации электроактивного компонента – C в проточном трехмерном электроде при тыльной, или фронтальной, подаче электролита в электрод [6, 7]:

$$\frac{d^2 E}{dx^2} = \left(\frac{1}{\kappa_T} + \frac{1}{\kappa_G} \right) S_V j_s; \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dx}(0) = -\frac{I}{\kappa_T}; \quad \frac{dE}{dx}(L) = \frac{I}{\kappa_G}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x}(x) = -\frac{S_V}{\nu z F} j_s(x); \quad (3)$$

здесь x – координата точки на электроде ($0 \leq x \leq L$); ν – линейная скорость протока раствора; κ_T , κ_G – соответственно, электропроводности электрода и электролита; S_V – удельная реакционная поверхность; z – валентность разряжающегося иона; F – число Фарадея; I – габаритная плотность тока, проходящего через электрод.

Если электрод в точке x работает в условиях предельного диффузионного тока, то для вычисления предельной плотности тока j_{pr} известны соотношения:

$$j_s(x) = j_{pr}(x) = z F k_m C(x), \quad (4)$$

$$\frac{dC}{dx} = -\frac{S_V}{\nu z F} j_s, \quad C(0) = C_0, \quad (5)$$

где k_m – коэффициент массопереноса.

Интегрируя уравнение (1) от 0 до L с условиями (2), получим:

$$\frac{I}{\kappa_G} = -\frac{I}{\kappa_T} + \left(\frac{1}{\kappa_T} + \frac{1}{\kappa_G} \right) S_V z F k_m C_0 \frac{\nu}{S_V k_m} \left(1 - \exp\left(-\frac{S_V k_m L}{\nu} \right) \right). \quad (6)$$

И, так как
$$j_{pr}(L) = z F k_m C_0 \exp\left(-\frac{S_V k_m L}{\nu} \right),$$

то
$$\frac{I}{\kappa_G} = -\frac{I}{\kappa_T} + \left(\frac{1}{\kappa_T} + \frac{1}{\kappa_G} \right) z F C_0 \nu \left(1 - \frac{j_{pr}(L)}{z F k_m C_0} \right).$$

Отсюда можно оценить значение габаритной плотности тока I_T^* , обеспечивающего предельный диффузионный ток в точке электрода $x=L$, а следовательно, и работу всего ПТЭ в режиме предельного диффузионного тока при тыльной подаче раствора в электрод:

$$I_T^* = zFC_0v \left(1 - \frac{j_{pr}(L)}{zFk_m C_0} \right). \quad (7)$$

Или, окончательно:

$$I_T^* = zFC_0vR, \quad (8)$$

где $R = 1 - C_L / C_0$ - заданная степень извлечения металла.

Из формулы (7) следует:

$$I_T^* = zFC_0v \left(1 - \exp \left(-\frac{S_V k_m L}{v} \right) \right) \quad (9)$$

И, с учетом (9), нетрудно получить выражение:

$$L_T = -\frac{v \ln(1-R)}{S_V k_m}.$$

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ И АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ ПТЭ В РЕЖИМЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ТОКА В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

Для расчета распределения электрохимического процесса во времени и пространстве воспользуемся одномерной нестационарной дифференциальной моделью [8, 9], описывающей распределение потенциала $-E$, концентрации ионов электроактивного компонента $-C$ и плотности тока J_S в точке электрода с координатой x в момент времени t :

$$zF \frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial \left(\frac{\kappa_T \kappa_G}{\kappa_T + \kappa_G} \frac{\partial E}{\partial x} \right)}{\partial x} - v z F \frac{\partial C}{\partial x} - z F \frac{\partial v}{\partial x} C, \quad (10)$$

$$v z F \frac{\partial C}{\partial x} = -S_V J_S, \quad (11)$$

$$J_S(x) = j_0 \frac{\exp(\alpha z F ((E - \varphi_R) / RT)) - \exp((\alpha - 1) z F (E - \varphi_R) / RT)}{1 + j_0 \exp(\alpha z F (E - \varphi_R) / RT) / z F k_m C}, \quad (12)$$

$$C(0, \tau) = C_0, \quad C(x, 0) = C_0, \quad \frac{\partial E}{\partial x}(0, t) = -\frac{I(t)}{\kappa_T}, \quad \frac{\partial E}{\partial x}(L, t) = \frac{I(t)}{\kappa_G}, \quad E(x, 0) = \varphi_R, \quad (13)$$

где φ_R, j_0, α - соответственно, стационарный электродный потенциал, плотность тока обмена и коэффициент переноса электродной реакции.

Нестационарную задачу (10)–(13) для численного решения приведем к квазистационарному виду, для чего разобьем временной интервал процесса электролиза $\{0, T_N\}$ на подынтервалы с шагом $\Delta \tau$: $\{0, \tau\}, \{0, 2\tau\}, \dots, \{0, N\tau\}$. Каждый из подынтервалов $\{0, K\tau, K=1, \dots, N\}$ будем отождествлять с временной точкой τ_K , что позволит записать уравнения (10)–(13) в дискретной форме относительно времени t . При этом будем считать, что изменения скорости протока электролита $-v$, электропроводности электрода $- \kappa_T$ и удельной реакционной поверхности электрода S_V допускают усреднение

по x : $v(x, \tau_K) = v(\tau_K)$, $\kappa_T(x, \tau_K) = \kappa_T(\tau_K)$ и $S_V(x, \tau_K) = S_V(\tau_K)$. В результате получим систему уравнений:

$$zF \frac{C(x, \tau_{K+1}) - C(x, \tau_K)}{\Delta \tau} = - \left(\frac{\kappa_T(\tau_K) \kappa_G}{\kappa_T(\tau_K) + \kappa_G} \right) \frac{d^2 E(x, \tau_K)}{dx^2} - zF v(\tau_K) \frac{dc}{dx}(x, \tau_K), \quad (14)$$

$$v(\tau_K) zF \frac{dC}{dx}(x, \tau_K) = -S_V(\tau_K) J_S(x, \tau_K), \quad (15)$$

$$J_S(x, \tau_K) = j_0 \frac{\exp(\alpha zF((E(x, \tau_K) - \varphi_R)/RT)) - \exp((\alpha - 1)zF(E(x, \tau_K) - \varphi_R)/RT)}{1 + j_0 \exp(\alpha zF(E(x, \tau_K) - \varphi_R)/RT) / zF k_m(\tau_K) C(x, \tau_K)}, \quad (16)$$

$$C(0, \tau_K) = C(x_K, 0) = C_0, \quad \frac{dE}{dx}(0, \tau_K) = -\frac{I(\tau_K)}{\kappa_T}, \quad \frac{dE}{dx}(L, \tau_K) = \frac{I(\tau_K)}{\kappa_G}, \quad E(x, 0) = \varphi_R. \quad (17)$$

Выполним несложные алгебраические преобразования уравнения (14) и вычислим определенный интеграл от обеих частей преобразованного уравнения по переменной x в пределах от 0 до L :

$$zF \int_0^L C(x, \tau_{K+1}) dx = zF \int_0^L C(x, \tau_K) dx - \tau \left(\frac{\kappa_T(\tau_K) \kappa_G}{\kappa_T(\tau_K) + \kappa_G} \right) \left(\frac{dE(L, \tau_K)}{dx} - \frac{dE(0, \tau_K)}{dx} \right) - \tau zF v(\tau_K) (C(L, \tau_K) - C(0, \tau_K)). \quad (18)$$

Если в некоторой точке электрода x реакция электроосаждения металла происходит в условиях предельного диффузионного тока, то, как и ранее, будем использовать соотношение между плотностью тока и концентрацией ионов металла:

$$J_S(x) = J_{pr}(x) = zF k_m C(x). \quad (19)$$

Используя понятие степени извлечения R и выражение для него

$$R = 1 - \frac{C(L, \tau_K)}{C(0, \tau_K)}, \quad (20)$$

с учетом соотношений (17) – (20), получим уравнение

$$\frac{1}{k_m} \int_0^L J_S(x, \tau_{K+1}) dx = \frac{1}{k_m} \int_0^L J_S(x, \tau_K) dx - \tau \left(\frac{\kappa_T(\tau_K) \kappa_G}{\kappa_T(\tau_K) + \kappa_G} \right) \left(\frac{I(\tau_K)}{\kappa_G} + \frac{I(\tau_K)}{\kappa_T(\tau_K)} \right) + \tau zF v(\tau_K) (RC(0, \tau_K)). \quad (21)$$

Учитывая, что

$$S_V \int_0^L J_S(x, \tau_{K+1}) dx = I(\tau_{K+1}); \quad S_V \int_0^L J_S(x, \tau_K) dx = I(\tau_K), \quad (22)$$

из уравнения (21) получим соотношение

$$I(\tau_{K+1}) = (1 - S_V(\tau_K) k_m(\tau_K) \tau) I(\tau_K) + S_V(\tau_K) k_m(\tau_K) \tau zF v(\tau_K) RC(0, \tau_K). \quad (23)$$

Это соотношение дает возможность вычислять габаритную плотность тока для каждого последующего промежутка времени электролиза, если известно его значение на предыдущем шаге.

Для вычисления значения габаритной плотности тока на нулевом (начальном) шаге воспользуемся формулами, аналогичными формулам (8), (9):

$$L = -\frac{v(\tau_0) \ln(1-R)}{S_V(\tau_0)k_m(\tau_0)}; \quad I(\tau_0) = zFC(\tau_0)v(\tau_0)R. \quad (24)$$

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ГАБАРИТНОГО ТОКА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО РАБОТУ ПТЭ В ПРЕДЕЛЬНОМ ДИФФУЗИОННОМ РЕЖИМЕ ПРИ УСРЕДНЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

При составлении алгоритма расчета мы использовали выведенные нами ранее динамические формулы для расчета основных параметров процесса и электролизера [10].

1. По формулам (24) рассчитываем L и $I(\tau_0)$.
2. Находим усредненное распределение металла на ПТЭ по формуле

$$M(\tau_1) = \frac{S_V(\tau_0)I(\tau_0)\tau}{zF\varepsilon(\tau_0)L}. \quad (25)$$

3. Усредненное значение пористости определяем по формуле

$$\varepsilon(\tau_1) = \varepsilon(\tau_0) - \frac{M(\tau_1)}{\rho V}. \quad (26)$$

4. Для расчета усредненной скорости протока электролита используем формулу

$$v(\tau_1) = m_V \frac{\rho}{\rho\varepsilon(\tau_1) - M(\tau_1)}. \quad (27)$$

5. Вычисляем усредненное значения коэффициента массопереноса:

$$k_m(\tau_1) = \frac{a(\rho m_V)^b}{(\rho\varepsilon(\tau_1) - M(\tau_1))^b}. \quad (28)$$

6. Находим усредненное значение удельной реакционной поверхности электрода из соотношения

$$S_V(\tau_1) = \frac{4V(1-\varepsilon(\tau_1))}{d} \cdot \sqrt{1 + \frac{M(\tau_1)}{\rho V(1-\varepsilon(\tau_1))}}. \quad (29)$$

7. По преобразованной формуле вычисляем новое значение габаритной плотности тока, обеспечивающего работу ПТЭ толщиной L в режиме предельного диффузионного тока:

$$I(\tau_1) = (1 - S_V(\tau_1)k_m(\tau_1)\tau)I(\tau_0) + S_V(\tau_1)k_m(\tau_1)\tau zFv(\tau_1)RC_0. \quad (30)$$

После определения нового значения габаритной плотности тока переходим к повторному выполнению пунктов 2–7, вычисляем $I(\tau_2)$ и так далее до вычисления $I(\tau_N)$. Тем самым мы определим массив значений габаритных плотностей токов $\{I(\tau_0), \dots, I(\tau_N)\}$ как управляющую функцию нестационарного процесса электроосаждения металла на ПТЭ, работающий в режиме предельного диффузионного тока по предварительно вычисленной толщине электрода L при заданной степени извлечения металла R .

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДВУХ МЕТАЛЛОВ В ПТЭ
В РЕЖИМЕ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОЛИТА

В этом случае работу электролизера целесообразно организовать так, чтобы за минимальное время извлечь ценные металлы до определенного уровня независимо от того, каким образом и в каком виде на ПТЭ образуется сплав металлов M_1 и M_2 . Эффективным режимом эксплуатации электролизера в этом случае будет использование режима достижения предельного диффузионного тока при соответствующих значениях плотности тока, проходящего через ПТЭ, $-I^*$, его толщины $-L^*$ и степени извлечения $-R^*$. Для решения задачи воспользуемся ранее полученными формулами (8), (9):

$$I^* = zFC_0 m_V R^* , \tag{31}$$

$$L^* = - \frac{m_V \ln(1 - R^*)}{S_V k_m} . \tag{32}$$

Работа ПТЭ в режиме предельного диффузионного тока при значениях параметров I^* , L^* , рассчитанных по формулам (8), (9), обеспечивает степень извлечения металла, равную:

$$R^* = \left(1 - \exp\left(- \frac{S_V k_m L^*}{m_V} \right) \right) . \tag{33}$$

Моделирование каскадной схемы (см. рисунок) с электролизером Q_3 и емкостью E_3 проведем для практически важного случая, когда выделен приоритет в извлечении одного из двух металлов M_1 и M_2 . Например, когда концентрация металла M_1 в растворе электролита значительно превышает концентрацию металла M_2 , может оказаться необходимым в первую очередь извлечь как можно больше металла M_1 для понижения его концентрации. Или когда один из металлов имеет значительно большую ценность, чем второй, и т.п. Такой подход не ограничивает общности метода решения задачи, но позволяет довести решение до алгебраической формулы. В этом случае математическая модель сводится к одному дифференциальному уравнению относительно концентрации выбранного металла $C(t)$

$$W \frac{dC}{dt} = -m_V \left(1 - \exp\left(- \frac{S_V k_m L^*}{m_V} \right) \right) C(t) , \tag{34}$$

решение которого для концентрации $C^1_3(t)$ выбранного (первого) металла в соответствии с обозначениями, приведенными на рисунке, удобно записать в виде:

$$\ln\left(\frac{C^1_2}{C^1_3(t)} \right) = \frac{m_V \left(1 - \exp\left(- \frac{k_m S_V L^*}{m_V} \right) \right)}{W} . \tag{35}$$

По уравнению (35) нетрудно определить время работы электролизера $Q - t^*$, за которое концентрация металла $C^l(t^*)$ понизится до заданного уровня C^l_{\min} : $C^l(t^*) \leq C^l_{\min}$, а также рассчитать объем емкости W , необходимый для понижения концентрации $C^l(t^*)$ до заданного уровня C^l_{\min} при заданном времени процесса:

$$W = \frac{m_V \left(1 - \exp\left(- \frac{k_m S_V L^*}{m_V} \right) \right)}{\ln\left(\frac{C^1_2}{C^1_{\min}} \right)} t^* . \tag{36}$$

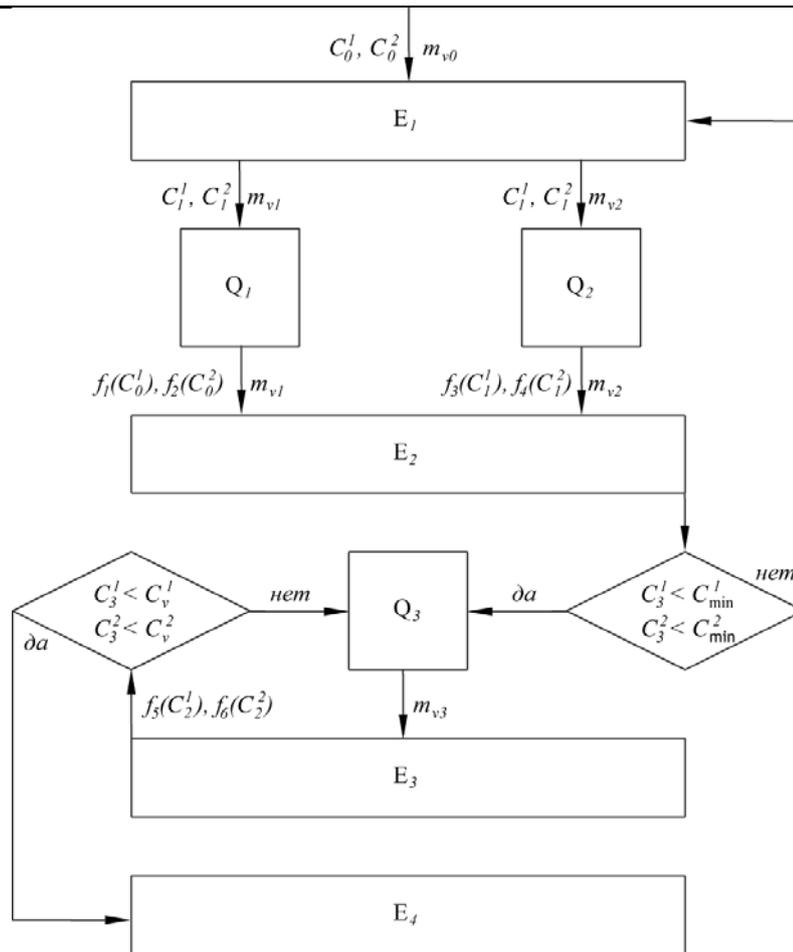


Рис. 1. Каскадная схема электролизеров для отдельного извлечения двух металлов в циркуляционном режиме электролиза:
 C^i – концентрации i -го компонента; m_v – объемные скорости протока электролита; E – емкости;
 Q – электролизеры; C_v^i – допустимая концентрация i -го компонента на выходе из электролизера E_3

Список литературы

1. Sioda, R.E. Current Potential dependence in the porous electrode under conditions of flow electrolysis / R.E. Sioda // *Electrochemical Acta*. – 1971. – Vol. 16. – P. 1569–1576.
2. Варенцов, В.К. Исследование работы волокнистых углеродных катодов на предельном диффузионном токе / В.К. Варенцов, А.Ф. Жеребилов // *Известия СО АН СССР. Сер. хим. наук*. – 1983. – Вып. 3, № 7. – С. 112–116.
3. Жеребилов, А.Ф. Влияние соотношения электропроводностей твердой и жидкой фаз на толщину проточного электрода работающего на предельном токе / А.Ф. Жеребилов, В.К. Варенцов // *Известия СО АН СССР. Сер. хим. наук*. – 1984. – Вып. 6, № 17. – С. 28–32.
4. Маслий, А.И. Оценка максимальной толщины пористого электрода, работающего на предельном диффузионном токе, при произвольном соотношении электропроводимостей твердой и жидкой фаз / А.И. Маслий, Н.П. Поддубный // *Электрохимия*. – 1994. – Т.30, № 7. – С. 897–903.
5. Кошев, А.Н. Влияние способа подачи электролита на показатели электрохимического процесса в проточном объемно-пористом электроде / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов // *Электрохимия*. – 1997. – Т. 35, № 8. – С. 903–905.
6. Кошев, А.Н. Анализ математических моделей и теория распределения поляризации в проточных объемно-пористых электродах / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов,

М.А. Чиркина // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2009. – Т. 45, № 4. – С. 441–448.

7. Кошев, А.Н. Нестационарные математические модели электрохимических процессов в реакторах с проточными объемно-пористыми электродами / А.Н. Кошев, М.А. Чиркина, В.К. Варенцов // Электрохимия. – 2007. – Т. 43, № 11. – С. 1372–1381.

8. Koshev, A.N. Calculation of Effective Conductivity Profile of Electrochemical Reactor with Flow Type Three Dimensional Electrodes / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, I.F. Sukhov // Theor. Found. Chem. Eng. – 2014. – V. 48, № 2. – P. 180.

9. Математическое моделирование и теория распределения поляризации в электрохимических реакторах с проточными объемно-пористыми катодами / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, М.А. Чиркина, В.Г. Камбург // Математическое моделирование. – 2011. – Т.23, №8. – С.110–117.

10. Процессы в пористом электроде в случае распределенной скорости протока электролита / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, И.Ф. Сухов, И.Г. Гвоздева // Математическое моделирование. – 2013. – Т.24, №2. – С. 97–110.

References

1. Sioda, R.E. Current Potential dependence in the porous electrode under conditions of flow electrolysis / R.E. Sioda // Electrochemical Acta. – 1971. – Vol. 16. – P. 1569–1576.

2. Varentsov, V.K. Study of the fibrous carbon cathodes in the limiting diffusion current / V.K. Varentsov, A.F. Zhrebilov // Izvestia of SB as USSR. Ser. chem. Sciences. – 1983. – Vol. 3, No. 7. – P. 112–116.

3. Zhrebilov, F.A. The Influence of correlation elektrokonduktivety solid and liquid phases on the thickness of the flow-through electrode is operating at limiting current / F.A. Zhrebilov, V.K. Varentsov // Izvestia of SB as USSR. Ser. chem. Sciences. – 1984. – Vol. 6, No. 17. – P. 28–32.

4. Masliy, A.I. Estimate the maximum thickness of the porous electrode operating at the limiting diffusion current at an arbitrary ratio elektrokonduktivety solid and liquid phases / A.I. Masliy, N.P. Poddubny // Russian Journal of Electrochemistry. – 1994. – Vol. 30, No. 7. – P. 897–903.

5. Koshev, A.N. The Influence of feeding method of the electrolyte on the performance of electrochemical process in flow volume-porous electrode / A.N. Koshev, V.K. Varentsov // Russian Journal of Electrochemistry. – 1997. – Vol. 35, No. 8. – P. 903–905.

6. Koshev, A.N. Analysis of mathematical models and the theory of distribution of polarization of the flowing volumetric-porous electrodes / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, M.A. Chirkina // Protection of Metals and Physicals Chemistry of Surfaces. – 2009. – Vol. 45, No. 4. – P. 441–448.

7. Koshev, A.N. Nonstationary mathematical models of electrochemical processes in the reactors with flowing volume-porous electrodes / A.N. Koshev, M.A. Chirkina, V.K. Varentsov // Russian Journal of Electrochemistry. – 2007. – Vol. 43, No. 11. – P. 1372–1381.

8. Koshev, A.N. Calculation of Effective Conductivity Profile of Electrochemical Reactor with Flow Type Three Dimensional Electrodes / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, I.F. Sukhov // Theor. Found. Chem. Eng. – 2014. – Vol. 48, № 2. – P. 180.

9. Mathematical modeling and the theory of distribution of polarization in electrochemical reactors with flowing volume-porous cathodes / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, M.A. Chirkina, V.G. Kamburg // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2011. Vol. 23, No. 8. – P. 110–126.

10. Processes in the Porous Electrode: Case of Distributed Flow-Through Electrolyte Velocity / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, I.F. Sukhov, I.G. Gvozdeva // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2013. – Vol. 24, No. 2. – P. 429–438.

Хмельницкий национальный университет
Украина, 29016, г. Хмельницкий,
ул. Институтская, 11,
тел.: (0382) 72-80-76

Шалапко Юрий Иванович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Машиностроение»
E-mail: centr@khnu.km.ua

Университет технологии и естествознания
Польша, г. Быдгош, S. Kaliskiego, 7,
тел.: (52) 374-94-11

Януш Мушял,
кандидат технических наук, доцент
кафедры E-mail: utp@utp.edu.pl
Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства
Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Камбург Владимир Григорьевич, доктор
технических наук, профессор кафедры
«Информационно-вычислительные
системы» E-mail: Kamburg@rambler.ru

Глебова Татьяна Александровна,
доцент, зам. заведующего кафедрой
«Информационно-вычислительные
системы»
E-mail: tan.1952@mail.ru

Khmelnitsky National University
Ukraine, 29016, Khmelnytsky, 11,
Institutskaya St.
tel. : (0382) 72-80-76

Shalapko Yuri Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Mechanical Engineering»
E-mail: centr@khnu.km.ua

Technology and natural science University of
Poland, Bydgoszcz, 7, S. Kaliskiego,
tel.: (52) 374-94-11

Janusz Musial
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor E-mail: utp@utp.edu.pl
Penza State University of Architecture
and Construction
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Kamburh Vladimir Hryhorevych,
Doctor of Sciences, Professor of the
Department «Information and computer
systems» E-mail: Kamburg@rambler.ru

Glebova Tatiana Alexandrovna,
Associate Professor, deputy. Head of the
department «Information and computer
systems»
E-mail: tan.1952@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ ПАРЫ ПРИ ЕЕ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Ю.И. Шалапко, М. Януш, В.Г. Камбург, Т.А. Глебова

Рассмотрены сведения о движении системы в зависимости от начальных условий. Начальные условия устанавливаются непосредственно при составлении соединения. Доказано, что с увеличением отклонения системы от положения равновесия работа сил трения возрастает линейно, а потенциальная энергия – квадратично.

Ключевые слова: позиционирование контактной пары, фреттинг, вибрационная тангенциальная нагрузка, линейный осциллятор

MODELING THE PROCESS OF POSITIONING CONTACT PAIR AT ITS DYNAMIC LOADING

Y.I. Shalapko, M. Janusz, V.G. Kamburg, T.A. Glebova

The article deals with information about the motion of the system, depending on the initial conditions. Initial conditions are set directly in the preparation of the compound. It was found that with increasing deviation of the system from equilibrium the work of friction force increases linearly, and the potential energy squarly.

Keywords: positioning a pair of contact, fretting, vibrating tangential load, linear oscillator

Известно, что законы трения твердых поверхностей являются довольно сложной функцией относительной скорости проскальзывания. Особенно это касается малых скоростей проскальзывания и неопределенности силы трения при переходе через нуль

при знакопеременном движении [1–4]. Однако для первого приближения решения нашей задачи принимаем постоянное трение по закону Кулона (рис.1).

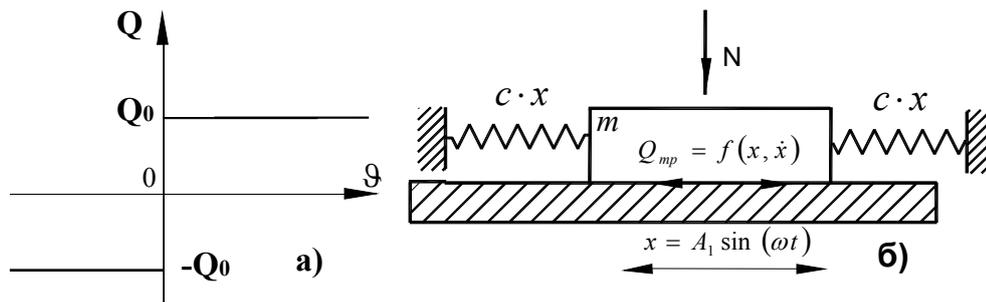


Рис. 1. Характеристика трения Кулона и принципиальная схема динамической исследуемой

При $g = 0$ сила трения может принимать любые значения в границах $-Q_0$ до $+Q_0$. Уравнение движения тела массой m при его расположении на основе A имеет вид (рис. 1, б):

$$m\ddot{x} = -cx + Q(g) \text{ при } \dot{x} < 0, \tag{1.1}$$

$$m\ddot{x} = -cx - Q(g) \text{ при } \dot{x} > 0, \tag{1.2}$$

где c – жесткость упругого элемента.

Из уравнений (1.1), (1.2) видно, что принимается второе предположение: при малых скоростях проскальзывания вязкая сила трения $k\dot{x}$ намного меньше кинетической составляющей трения $Q(g)$.

Решение динамической задачи с трением

Рассмотрим движение системы в зависимости от начальных условий. Собственно говоря, начальные условия устанавливаются непосредственно при составлении соединения. Тогда номинально-неподвижное соединение в макро-, а номинально-неподвижный контакт в микромасштабе характеризуется координатой x_0 относительно положения динамического равновесия ($cx = 0$ при $x = 0$), тангенциальным напряжением в интерфейсе cx_0 и начальной скоростью \dot{x}_0 . Пусть $\dot{x}_0 > 0$ и $x_0 > 0$. Тогда движение системы описывается уравнением (1.2). При мгновенной остановке, когда $\dot{x} = 0$, скорость должна поменять знак на отрицательный и движение должно описываться уравнением (1.1).

В качестве начальных условий необходимо принимать координату x_1 , которую система имела при $\dot{x} = 0$. Таким образом, если для одного из уравнений (1) начальные условия $\dot{x}_0 > 0$ и $x_0 > 0$, то для второго $\dot{x}_1 > 0$ и $x_1 > 0$. Таким способом происходит изменение равновесия при осциллирующих движениях тела m по основанию A .

Принимаем $c/m = \omega_0^2$, $Q/m = a\omega_0^2$. Понятно, что $a = Q/c$. Тогда уравнения (1.1), (1.2) принимают вид:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \begin{cases} +a\omega_0^2 \text{ при } \dot{x} < 0, \\ -a\omega_0^2 \text{ при } \dot{x} > 0, \end{cases} \tag{2}$$

или

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + \omega_0^2 \cdot x_1 = 0 \text{ при } \dot{x} < 0, \\ \ddot{x}_2 + \omega_0^2 \cdot x_2 = 0 \text{ при } \dot{x} > 0, \end{cases} \tag{3}$$

где $x_1 = x - a$, $x_2 = x + a$.

Решение (3) является уравнением гармонических колебаний (рис.2).

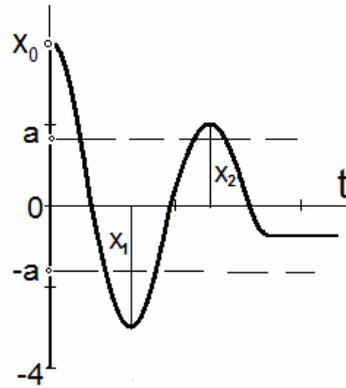


Рис. 2. Движение тела по основанию A при начальном отклонении x_0

Если первоначальное отклонение системы x_0 является дополнительным и скорость $\dot{x}_0 = 0$, то начальная скорость будет отрицательной. Положение равновесия будет смещено на $+a$. Поэтому в результате первого полупериода второй экстремум функции $|x_1| = |x_0| - 2a$. Для второго полупериода ($\dot{x}_0 > 0$) действует второе уравнение (3), и положение равновесия смещено на $-a$. За период амплитуда колебаний уменьшится на $4a$.

$$|x_2| = |x_1| - 2a = |x_0| - 4a.$$

Таким образом, в отличие от линейного осциллятора, для которого сила трения пропорциональна скорости затухания колебаний [3], в нашем случае затухание происходит по арифметической прогрессии. Рассмотрим уравнение линейного осциллятора:

$$m\ddot{x} + n\dot{x} + cx = 0, \quad (4)$$

где n – коэффициент вязкого демпфирования.

Обозначив: $n/m = 2h$, $c/m = \omega^2$, получим:

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + \omega^2 x = 0. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) имеет следующий вид:

$$x = c_1 e^{k_1 t} + c_2 e^{k_2 t},$$

где k_1, k_2 – корни квадратного уравнения: $k^2 + 2hk + \omega^2 = 0$.

В зависимости от $h^2 - \omega^2$ получим два процесса: при $h^2 < \omega^2$ – процесс затухания с осцилляцией; при $h^2 > \omega^2$ – аperiodические процессы затухания.

Обозначим разницу $\omega^2 - h^2$ за ω_0^2 . Тогда

$$x = e^{-ht} (c_1 \cos \omega_0 t + c_2 \sin \omega_0 t). \quad (6)$$

При начальных условиях $t = 0$, $x = x_0$, $\dot{x} = \dot{x}_0$

$$x = e^{-ht} \left(x_0 \sin \omega_0 t + \frac{\dot{x}_0 + hx_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t \right). \quad (7)$$

Решение (7) запишем в виде:

$$x = c_3 e^{-ht} \cos(\omega_0 t + \alpha), \quad (8)$$

где $c_3 = \sqrt{c_1^2 + c_2^2} = \sqrt{x_0^2 + \left(\frac{\dot{x}_0 + hx_0}{\omega_0} \right)^2}$,

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{c_2}{c_1} = -\frac{\dot{x}_0 + hx_0}{\omega_0 x_0}.$$

Скорость движения:

$$\frac{dx}{dt} = -c_3 \omega e^{-ht} \sin(\omega_0 t + \alpha + \beta), \quad (9)$$

где $h = \omega \sin \beta$, $\omega_0 = \omega \cos \beta$ из условия $\omega_0^2 + h^2 = \omega^2$.

Из полученных уравнений видно, что процесс затухания происходит в связи с показательным законом и зависит от h . Возьмем отношение двух соседних амплитуд:

$$\frac{x_{\max,1}}{x_{\max,2}} = e^{\frac{2\pi h}{\omega_0}} = e^{hT},$$

где $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$.

Тогда логарифмический декремент колебаний $\delta = hT$. В связи с вышеупомянутым линейным осциллятором, отметим одно из важных отличий этих характеристик трения. В случае линейного осциллятора всегда можно разделить систему на колебательную и аperiodическую. В случае постоянного трения это совсем не имеет смысла, так как всегда можно отклонить тело на такое расстояние, при котором состоятся колебания. Физический смысл такой особенности играет значительную роль при рассмотрении баланса энергии в системе.

Рассмотрим тело массой m в состоянии покоя и с отклонением координаты x_0 (см. рис.1). Потенциальная энергия составляется упругим элементом $\Pi = \frac{cx_0^2}{2}$. Работа сил трения зависит только от перемещения ($Q = \text{const}$). По условным полупериодам $x(t) \neq x(t+T)$ эта работа составляет:

$$A_1 = (|x_0| + |x_1|) \cdot Q. \quad (10)$$

Потенциальная энергия:

$$\Pi = \frac{cx_1^2}{2}.$$

Баланс энергий:

$$\frac{c}{2}(x_0^2 - x_1^2) = (|x_0| + |x_1|) \cdot Q, \quad (11)$$

с другой стороны:

$$|x_0| - |x_1| = \frac{2Q}{c} = 2a. \quad (12)$$

Таким образом, с увеличением отклонения системы от положения равновесия работа сил трения возрастает линейно (10), а потенциальная энергия – квадратично. Итак, можно сделать вывод, что при соответствующем отклонении запас энергии в системе гораздо больше, чем рассеяние энергии за счет трения в течение условного полупериода. Тогда в начале процесса система будет себя всегда вести как колебательная.

Принимаем, что $\frac{dx}{dt} = y$. Тогда составляем дифференциальные уравнения первого порядка согласно (2):

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx} = \frac{-\omega^2(x-a)}{y} & \text{для } y < 0 \\ \frac{dy}{dx} = \frac{-\omega^2(x+a)}{y} & \text{для } y > 0 \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} ydy = -\omega^2(x-a)dx & (y < 0) \\ ydy = -\omega^2(x+a)dx & (y > 0) \end{cases} \quad (14)$$

Решением дифференциальных уравнений (14) является система:

$$\begin{cases} \left(\frac{x-a}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{y}{r_1\omega}\right)^2 = 1 & (y < 0) \\ \left(\frac{x+a}{r_2}\right)^2 + \left(\frac{y}{r_2\omega}\right)^2 = 1 & (y > 0) \end{cases} \quad (15)$$

Система (15) описывает эллипс, одна часть которого смещена вправо и влево на величину a . На рис. 3 рассчитана фазовая диаграмма процесса, которая имеет вид спирали и составлена из полуэллипсов. Таким образом, система совершает колебания около положения равновесия и останавливается после соответствующего количества циклов в зависимости от начальных условий. Понятно, что есть множество начальных условий, которые соответствуют положению системы на оси x в пределах $(-a, +a)$.

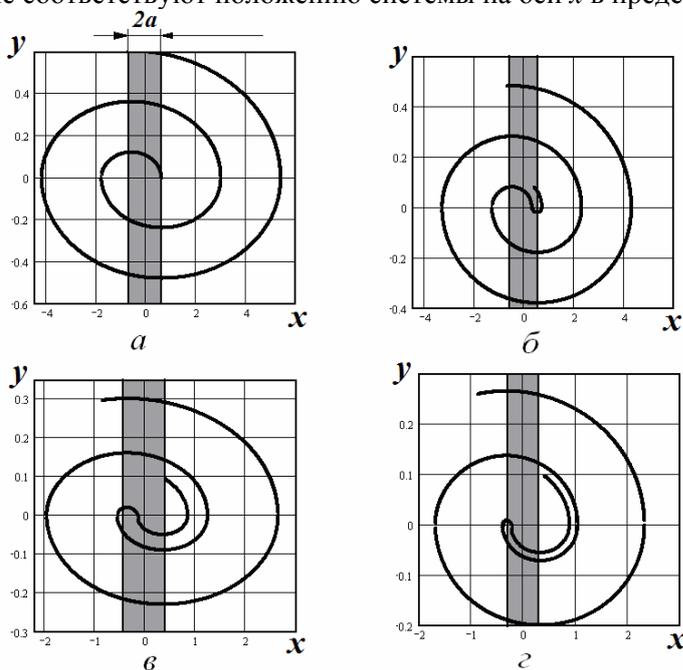


Рис. 3. Фазовые диаграммы колебательной системы с постоянным трением, при различных размерах зоны сцепления:
 $a - a = 0,6$ (остановка); $б - a = 0,5$; $в - a = 0,35$; $г - a = 0,32$

В ы в о д ы .

Практической ценностью рассмотренной задачи является определение условий динамического контактного взаимодействия двух поверхностей при микроперемещении с учетом момента пуска машины или агрегата [5, 6]. Дальнейшие расположения поверхностей при устойчивой системе влияют на интенсивность фреттинга в номинально-неподвижных соединениях, а именно контактной жесткости поверхностей и амплитуды относительного проскальзывания.

На рис. 4 показаны моменты установки поверхностей трения в условиях малоамплитудного фреттинга при динамическом контакте шарика с плоскостью при амплитуде относительного смещения 10 мкм.

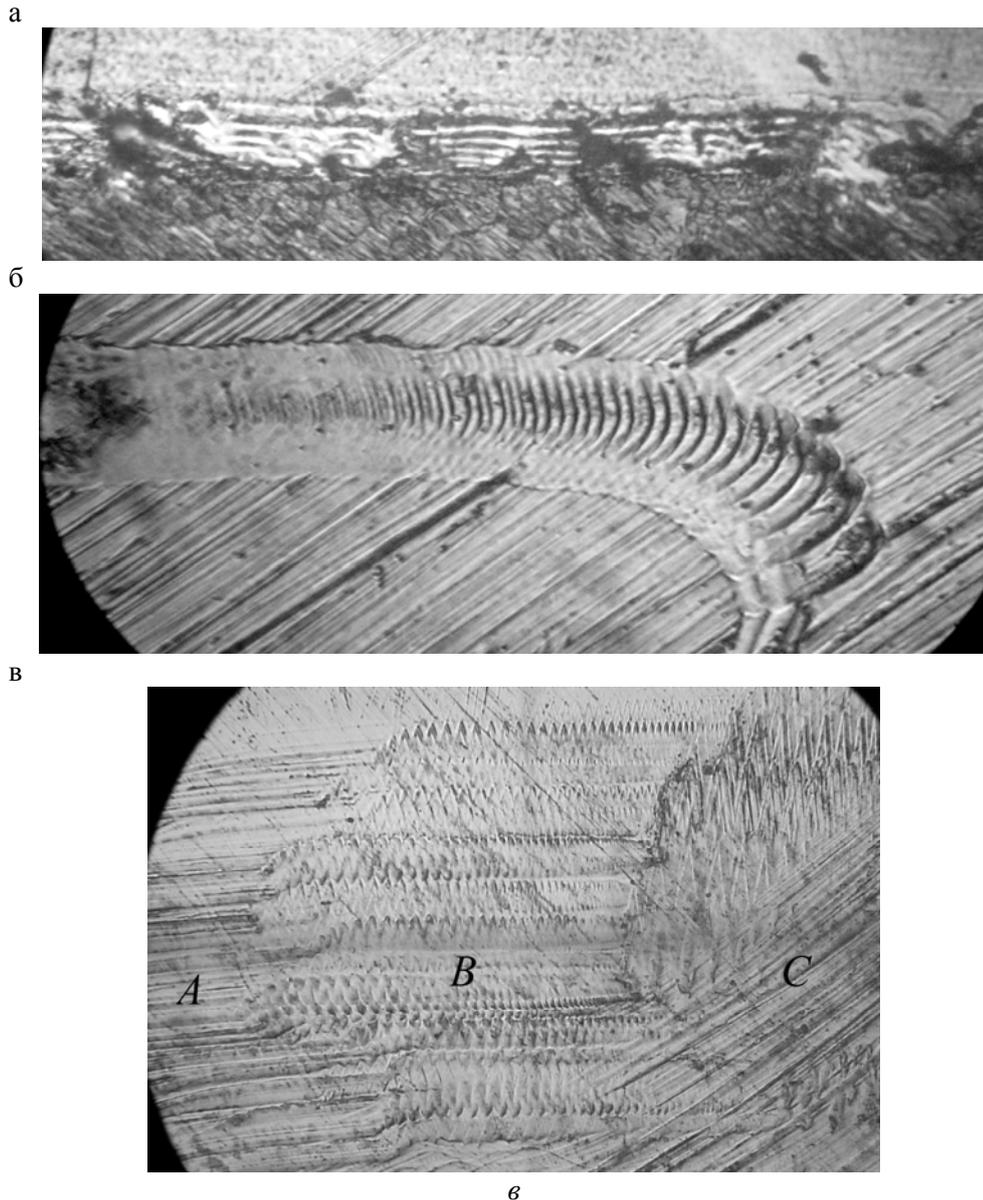


Рис.4. Процессы установки двух поверхностей
в условиях вибрационной тангенциальной нагрузки:

а – границы пятна контакта; *б* – след от проскальзывания отдельной микронеровности;
в – переходные моменты от скольжения (*А*) до сцепления (*С*) через режим
динамического сцепления-проскальзывания (*В*)

Список литературы

1. Шалапко, Ю.І. Вплив Штрибек ефекту на нелінійний осцилятор з сухим тертям при кінематичному збудженні / Ю.І. Шалапко // Вісник Технологічного університету. – 2005. – №1. – С. 35–43.
2. Шалапко, Ю.І. Перехідні процеси в системах з сухим тертям і диференційних рівняннях / Ю.І. Шалапко // Вісник Технологічного університету. – 2003. – Ч.1. – Т.2. – №6. – С. 258–262.
3. С. Canudas de Wit and P. Lischinsky. Adaptive friction compensation with partially known dynamic friction model. Int. J. of Adaptive Control and Signal Processing, 11Н1 1997.
4. Вибрации в технике: справочник: в 6 т. Т. 2. Колебания нелинейных механических систем / под ред. И.И. Блехмана. – М.: Машиностроение, 1979. – 351 с.

5. Żółtowski B., Żółtowski M.: Vibrations in the Assessment of Construction State. Applied Mechanics and Materials Vol. 617(2014), Trans Tech Publications, Switzerland 2014. – P. 136–141.
6. Żółtowski M. ii.: Study of the state Francis Turbine. Polish Maritime Research, No. 2/ (78), vol.20, 2013. – P. 41–48.

References

1. Shalapko, Yu.I. Vpliv Stribeck efekta on neliniyny oscillator s dry grated at kinematchnomu zbudzhenni / Yu.I. Shalapko // News Tehnologichnogo universitetu. – 2005. – №1. – P. 35–43.
2. Shalapko, Yu.I. Perehidni processes in systems s dry grated i diferentsiynih rivnyannyah / Yu.I. Shalapko // News Tehnologichnogo universitetu. – 2003, Part 1. Vol. 2. – №6. – P. 258–262.
3. C. Canudas de Wit and P. Lischinsky. Adaptive friction compensation with partially known dynamic friction model. Int. J. of Adaptive Control and Signal Processing, 11H1 1997.
4. Vibrations in the art. Handbook 6 t. T. 2. Fluctuations in nonlinear mechanical systems / Ed. II Blekman. – M.: Engineering, 1979. – 351 p.
5. Żółtowski B., Żółtowski M.: Vibrations in the Assessment of Construction State. Applied Mechanics and Materials Vol. 617 (2014), Trans Tech Publications, Switzerland in 2014. – P. 136–141.
6. Żółtowski M. ii .: Study of the state Francis Turbine. Polish Maritime Research, No. 2 / (78), vol.20. – 2013. – P. 41–48.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Ерёмкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Кубис Вячеслав Александрович,
старший преподаватель кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
E-mail: slavik-kubis26@mail.ru

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор
кафедры "Информационно-
вычислительные системы"
E-mail: koshev@pguas.ru

Грейсх Григорий Исаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Физика и химия»
E-mail: office@pguas.ru

Пензенский государственный университет
Россия, 440000, г. Пенза, ул. Красная, д.40

Салмин Владимир Васильевич
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Транспортные машины»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Eremkin Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Heat and ventilation»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Kubis Vyacheslav Aleksandrovich,
senior lecturer of the department «heat and
gas supply and ventilation»
E-mail: slavik-kubis26@mail.ru

Alexander Nikolaevich Koshev,
Doctor of Sciences, Professor of the
department "Information and computing
systems"
E-mail: koshev@pguas.ru

Greisuh Gregory Isaevich,
Doctor of technical Sciences, Professor,
Head of the department «Physics and chemistry»
E-mail: office@pguas.ru

Penza State University
Russia, 440000, Penza, 40, Krasnaya St.

Salmin Vladimir Vasilievich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
departament «Transport maschiny»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА АДСОРБЦИИ ВЛАГИ ИЗ КОНДИЦИОНИРОВАННОГО ВОЗДУХА В ПОРИСТОМ ТЕКСТИЛЬНОМ МАТЕРИАЛЕ

А.И. Ерёмкин, В.А. Кубис, А.Н. Кошев, В.В. Салмин, Г.И. Грейсх

На основе представления компактно сформированного текстильного материала в виде объемно-пористой среды с усредненными физико-химическими и технологическими параметрами предлагается математическая модель для проведения теоретических и численных исследований закономерностей процесса увлажнения текстильного материала. Математическая модель представляет собой краевую задачу математической физики, решение которой дает возможность рассчитывать распределение относительной влажности кондиционированного воздушного потока в толще пористой среды. Обсуждены методы решения задачи. Проведены теоретические и численные исследования.

Ключевые слова: математическая модель, влагообмен, воздушный поток, кондиционирование воздуха

MATHEMATICAL MODELS AND METHODS OF CALCULATION ADSORPTION MOISTURE FROM THE CONDITIONED AIR IN THE POROUS TEXTILE MATERIAL

A.I. Eremkin, V.A. Kubis, A.N. Koshev, V.V. Salmin, G.I. Greisuh

Based on the compactly formed textile material in the form of volumetric-porous medium with averaged physico-chemical and technological parameters mathematical model for theoretical and numerical studies of regularities of the process of moistening textile material is offered. The mathematical model represents a boundary value problem of mathematical physics which solution gives the possibility to calculate the distribution of relative humidity of conditioned air flow in the thickness of the porous medium. Methods for solving the problem are discussed. Theoretical and numerical investigations are given.

Keywords: mathematical model, moisture transfer, air flow, air conditioning

При реализации технологических процессов производства пряжи на разных стадиях требуется различная влажность перерабатываемых волокон W , %.

Обрабатываемый материал представляет собой бобины с плотными намотанными полуфабрикатами пряжи и нитями и может рассматриваться как пористая среда с распределенными по объему эффективными характеристиками, такими, как пористость, теплопроводность, массопроводность, адсорбционные характеристики и пр. В процессе увлажнения материала среды в каждой точке пористого пространства происходит реакция адсорбции влаги, которая имеет свои микроскопические закономерности.

Для изучения процессов увлажнения волокон кондиционированным воздухом наиболее удобным инструментом проведения теоретических исследований является математическое моделирование физических и технологических процессов сушки и увлажнения.

Математическое моделирование процесса увлажнения пористой среды прядильного материала рассматривалось на примере ровницы, намотанной на бобину, при этом учитывалось, что увлажняющий воздух подается непосредственно на бобину и в технологическую зону прядильной машины (рис. 1).

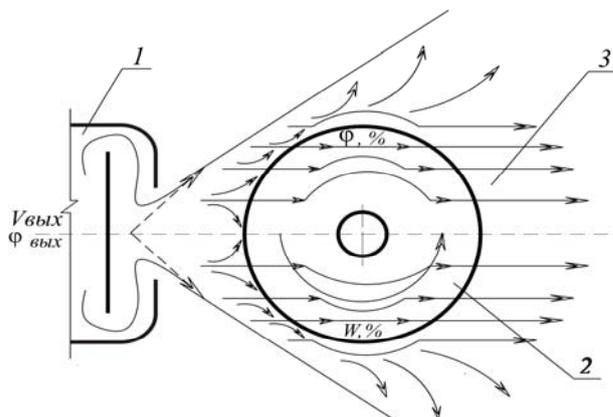


Рис. 1. Схема подачи приточного воздуха на бобину:

1 – воздухораспределитель; 2 – ровница; 3 – предполагаемая схема эпюры скоростей воздуха

Важнейшими движущими силами проникновения влажного воздуха к внутренним, труднодоступным участкам пористого материала являются принудительный поток воздуха и диффузионный механизм. При этом учет скорости микроскопической реакции увлажнения поверхности нити, ровницы, ленты и пр. должен производиться в соответствии с теорией и практикой зависимости влагосодержания материала от относительной влажности воздуха и теплопроводности среды.

Температура внутренней области пористого материала определяется термодиффузией и, очевидно, должна учитываться при значительных перепадах температуры подаваемого в рабочую зону увлажняющего воздуха. Если этого не происходит, то

температурными колебаниями вне и внутри среды можно пренебречь. Подобный подход к принципиальному описанию макрокинетики пористой системы как однородной среды при определенных условиях протекания адсорбционных процессов был предложен еще в 1939 г. Я.Б.Зельдовичем и успешно применяется исследователями в настоящее время.

В соответствии с вышеупомянутой теорией вся пористая среда будет нами рассматриваться как однородная, в каждой точке которой протекает кинетическая реакция увлажнения.

Естественно, все кинетические параметры, такие, например, как коэффициент диффузии, имеют усредненные значения. Эти значения могут существенно отличаться от истинных и определяются на основе экспериментальных исследований.

Перейдем к математическому моделированию процесса увлажнения пористой среды – прядильного материала – на примере ровницы, намотанной на бобину, при этом будем учитывать, что увлажняющий воздух подается непосредственно на бобину и в технологическую зону прядильной машины (см. рис.1).

Примем следующие допущения, которые при рассматриваемых технологических процессах увлажнения текстильного материала являются вполне естественными.

Во-первых, будем считать, что температура воздуха в бобине и во всех точках технологической зоны прядильной машины одинакова. Это соответствует действительности в случае, когда подаваемый кондиционированный воздух не меняет температуру с течением времени, что реализуется в рамках технологических требований текстильного производства.

Во-вторых, подача кондиционированного воздуха в объем пористой среды (бобина с ровницей, веретено с пряжей, лента и пр.) осуществляется преимущественно за счет принудительного движения воздуха и диффузионного переноса влаги.

Тогда, согласно закону сохранения вещества, в каждой точке рассматриваемой среды изменение влажности во времени подчиняется уравнению

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\text{div}(j_{\text{прин}} + j_{\text{дифф}}) + j_{\text{ист}}, \quad (1)$$

где $\text{div} = \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}\right)$ – оператор дивергенции вектора; $j_{\text{прин}}$ – принудительный поток воздуха, обусловленный наличием начальной скорости подачи воздуха в пористую среду; $j_{\text{дифф}}$ – поток, обусловленный диффузией влаги; $j_{\text{ист}}$ – отрицательный источник, вызванный потерей влаги из подаваемого влажного воздуха за счет адсорбции влаги в каждой точке объема псевдооднородной среды.

Рассмотрим выражения для каждого из потоков в отдельности.

Для потока принудительного движения воздуха имеем

$$j_{\text{прин}} = \varphi \cdot \vec{w}, \quad (2)$$

где $\vec{w} = (w_1, w_2, w_3)$ – вектор скорости движения кондиционированного воздуха сквозь пористую среду.

В первом приближении будем считать, что компоненты этого вектора имеют постоянную величину, а в дальнейшем рассмотрим и случай изменения скорости в объеме пористой среды.

Для потока диффузии влаги внутри среды известно выражение [2]:

$$j_{\text{дифф}} = D \cdot \text{grad}(\varphi), \quad (3)$$

где D – усредненный коэффициент диффузии.

Так как мы рассматриваем псевдооднородную модель пористой среды, то значение D , естественно, не является истинным коэффициентом диффузии, а является некоторым

рабочим параметром, позволяющим усредненно описывать процесс диффузии влаги в пористой среде.

Плотность источника поглощения влаги из увлажняющего воздуха:

$$j_{\text{ист}} = k \cdot S \cdot f(\varphi),$$

где k – константа скорости адсорбции на единицу поверхности; $F_{\text{пс}}$ – удельная поверхность единицы объема пористой среды, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Вид функции $f(\varphi)$, очевидно, зависит от механизма увлажнения материала. Для описания такого механизма существует множество моделей, которые, однако, описывают в основном частные физико-химические ситуации и малопригодны для их использования в общем, усредненном случае.

В данной статье предлагается оригинальный подход к решению задачи, на основании которого получен общий вид функции $f(\varphi)$, учитывающей физические закономерности процесса адсорбции и позволяющей в каждом конкретном технологическом случае находить аналитическое выражение для функции источника в соответствии с экспериментально определенной зависимостью. Нами разработано математическое описание зависимости равновесной влажности волокон $W_p(x)$ от относительной влажности воздуха $\varphi(x)$ при постоянной температуре t_b , соответствующее экспериментально полученным изотермам сорбции. Результаты математического моделирования $W_p = f(\varphi)_t$ представлены в виде аналитической функции, характеризующейся набором параметров, численные значения которых определяются механизмом конкретного процесса адсорбции влаги (рис. 2).

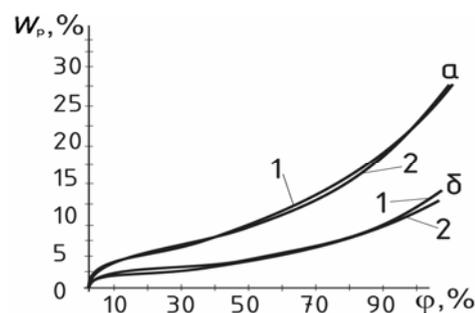


Рис. 2. Графики экспериментальных (1) и теоретических (2) зависимостей влагосодержания $W_p(x)$ от относительной влажности воздуха $\varphi(x)$:
а – вискоза; б – капрон

Для математического описания экспериментальной зависимости выделялись два участка на каждой кривой: при $0 < \varphi(x) < \varphi_c$ – участок выпуклостью вверх к оси W_p и при $\varphi_c < \varphi(x) < 100\%$ – прямолинейный участок, переходящий в участок выпуклостью вниз к оси φ . Здесь φ_c – некоторый усредненный параметр, имеющий соответствующие значения для каждого вида текстильного материала. На обоих выделенных участках установлены аналитические зависимости, полученные на основе следующих рассуждений.

На первом участке кривой адсорбции при $0 < \varphi(x) < \varphi_c$ считалось, что скорость роста объема адсорбированной влаги пропорциональна ее значению при данной влажности воздуха φ , а также разности $W_m - W_p$, где W_m – константа, характеризующая предельное влагосодержание пористого материала. В результате получили уравнение $dW_p / d\varphi = k \cdot W_p \cdot (W_m - W_p)$, где k – коэффициент пропорциональности. Решение этого уравнения зависит от константы W_n , характеризующей начальную равновесную влажность волокон W_p :

$$W_p = W_n / [1 + (W_n / W_T - 1) e^{-k\varphi}]. \quad (4)$$

Из уравнения (4), в частности, следует, что максимальная скорость изменения W_p будет наблюдаться при $\varphi = (1/W_m) \cdot \ln(W_m/W_n - 1)$.

На втором участке при $\varphi \geq \varphi_c$ включаются полимолекулярный и капиллярный механизмы влагонаполнения капиллярно-пористой среды. В этом случае возрастание W_p с ростом φ имеет экспоненциальный характер:

$$W_p = k_2 \cdot e^{k_1(\varphi - \varphi_c)}, \quad (5)$$

где k_1 , k_2 и φ_c – некоторые константы, значения которых можно определить методами аналитической обработки экспериментальных данных.

Суммируя рассмотренные случаи (4) и (5), получим общее выражение зависимости W_p от φ :

$$W_p = k_2 \cdot e^{k_1(\varphi - \varphi_c)} + W_n / [(1 + (W_n/W_m - 1)e^{-k\varphi})]. \quad (6)$$

Приведенные на рис. 2 и другие расчетные данные позволяют сделать вывод, что математическая зависимость (6) достаточно точно отображает равновесный процесс взаимодействия текстильных волокон с кондиционированным воздухом при максимальном отклонении 5–9 % от экспериментальной кривой.

Вернемся к уравнению (1). Имеем:

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\text{div}(j_{\text{прн}}) - \text{div}(j_{\text{дифф}}) + j_{\text{ист}}$$

или

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\left(w_1 \frac{d\varphi}{dx} + w_2 \frac{d\varphi}{dy} + w_3 \frac{d\varphi}{dz}\right) - D \cdot \left(\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2}\right) + k \cdot F_{nc} \cdot f(\varphi). \quad (7)$$

Таким образом, уравнение (7) будем считать базовой моделью для расчета распределения увлажняющего воздуха в объеме рассматриваемой пористой среды.

Сделаем ряд естественных предположений.

Будем считать, что процесс распространения влаги в объеме пористой среды носит квазистационарный характер, т.е. в течение достаточно длительных промежутков времени влагосодержание воздуха, подаваемого в рабочую и технологическую зоны прядильной машины, постоянно. Следовательно, в каждом из таких промежутков $\frac{d\varphi}{dt} = 0$. Кроме того, будем считать, что все участки поверхности бобины с текстильным материалом равнодоступны для подаваемого воздуха и имеют одинаковые поверхностные характеристики. Такое представление возможно, например, когда бобина вращается относительно источника потока воздуха, что реализуется в принятой технологии.

В рамках таких предположений многомерное уравнение (4) упрощается до одномерного:

$$D \frac{d^2\varphi}{dx^2} + w \frac{d\varphi}{dx} = F_{nc} \cdot f(\varphi). \quad (8)$$

Уравнение (8) может быть решено конечно-разностными методами, если известны вид или табулированные значения функции $f(\varphi)$, а также значения усредненного коэффициента диффузии D , скорости потока w и удельной поверхности среды F_{nc} .

Для численного решения уравнения (8) необходимо задать также граничные условия. Очевидно, что в точке $x = 0$, т.е. на границе пористой среды, влажность соответствует влажности подаваемого в технологическую зону воздуха – φ_0 , т.е.

$$\varphi(0) = \varphi_0. \quad (9)$$

Выведем условие для производной $\frac{d\varphi}{dx}$ в точке $x = 0$.

Выделим элементарный объем в пористой среде (ПС) единичной площади и малой толщины V_m .

Рассмотрим изменение влагосодержания воздуха при прохождении его сквозь пористую среду заданного объема.

Относительная влажность воздуха в этом объеме – $\varphi(x)$ будет меняться по мере движения сквозь среду, а именно уменьшаться за счет осаждения влаги в порах среды.

Пусть φ_0 начальная относительная влажность воздуха на входе в ПС.

После прохода в толщу среды на расстояние ΔX влажность воздуха изменится до φ_Δ за счет сорбции влаги на поверхности среды. Тогда

$$(\varphi_0 - \varphi_\Delta) = \frac{Q_p^0 - Q_p^\Delta}{Q_{\max}},$$

где Q_p^0 – количество водяного пара в единице объема влажного воздуха до увлажнения объема V_m пористой среды; Q_p^Δ – количество водяного пара в единице объема влажного воздуха после увлажнения объема V_m пористой среды; Q_{\max} – максимальное количество водяного пара в единице объема влажного воздуха.

Тогда величина $Q_{\max} (\varphi_0 - \varphi_\Delta) \cdot V_m / V_{\text{ед}}$ равна количеству влаги, адсорбированной в порах ПС объема V_m ($V_{\text{ед}}$ – единичный объем).

В каждой точке пористой среды влага осаждается согласно закону адсорбции, то есть кривой адсорбции, зависящей от физико-химических характеристик среды:

$$W(x) = f(\varphi(x)),$$

где $W(x)$ – удельное влагосодержание волокон в точке x .

Тогда количество адсорбированной влаги в объеме V_m ПС будет равно:

$$\rho S_m \int_0^{\Delta y} (f(\varphi(x)) - W_0) \cdot dx,$$

где S_m – площадь, занятая твердой фазой ПС; ρ – плотность пористого материала; W_0 – удельное влагосодержание материала до увлажнения.

Таким образом, получаем:

$$Q_{\max} (\varphi_0 - \varphi_\Delta) \cdot V_m / V_{\text{ед}} = \rho S_m \int_0^{\Delta y} (f(\varphi(x)) - W_0) \cdot dx.$$

Поделим обе части этого равенства на ΔX и перейдем к пределу при $\Delta X \rightarrow 0$. При этом логично положить, что после предельного перехода область V_m будет представлять собой часть единичной поверхности S_m , соответствующей площади пор, т.е. $\varepsilon \cdot S_{\text{ед}}$, где ε – коэффициент пористости ПС. S_m , соответственно, является частью единичной поверхности, занятой твердой фазой среды, т.е. $S_m = (1 - \varepsilon) \cdot S_{\text{ед}}$.

Следовательно, условие для производной функции $\varphi(x)$ в точке $x=0$:

$$\frac{d\varphi}{dx}(0) = - \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon} \cdot \frac{\rho}{Q_{\max}} (f(\varphi(0)) - W_0). \quad (10)$$

Кроме того, можно уверенно утверждать, что в отдаленной от границы точке в объеме пористой среды влажность воздуха в порах также является некоторой постоянной величиной. То есть на некотором расстоянии δ от границы имеем:

$$\left. \frac{d\varphi(x)}{dx} \right|_{x \geq \delta} = 0.$$

Это условие соответствует предположению, что на достаточном расстоянии от границы пористой среды влажность воздуха и влажность материала среды можно принять равными, и будет использоваться нами для контроля численного решения.

Задача (8), (9), (10) представляет собой двухточечную граничную задачу для обыкновенного дифференциального уравнения.

Заметим, что математическая модель процесса увлажнения материала (8)-(10) является некоторым приближением к полному математическому описанию процесса увлажнения, протекающего в объеме пористой среды, однако при правильном выборе параметров процесса позволяет с достаточной точностью рассчитывать распределение влаги в порах рассматриваемой системы.

Краевая «двухточечная» задача (8)-(10) представляет собой обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка с «сильно не линейной» правой частью и краевыми условиями, заданными в виде начального и конечного значений искомой функции и ее производной.

Прежде чем описать метод решения задачи (8)-(10), приведем некоторые рассуждения о корректности постановки, в частности, устойчивости решения. Очевидно, что если задача (8)-(10) не относится к разряду устойчивых дифференциальных уравнений, то для проведения расчетов следует использовать так называемые «жесткие» методы численного решения дифференциальных уравнений, а применение обычных методов должно сопровождаться постоянным контролем над решением. Это необходимо из-за того, что для классически неустойчивых систем дифференциальных уравнений малые изменения в начальных данных для искомой функции могут вызвать значительные ошибки в решении системы на последующих, и особенно на конечных участках изменения независимой переменной, вплоть до полного искажения решения.

Покажем возможную неустойчивость задачи (5)-(7). Для этого введем новую неизвестную функцию:

$$\psi(x) = \frac{d\varphi}{dx} \quad (11)$$

и преобразуем дифференциальное уравнение второго порядка (8) к системе двух дифференциальных уравнений первого порядка относительно двух неизвестных функций $\varphi(x)$ и ее производной $\psi(x)$:

$$\begin{cases} D \frac{d\psi}{dx} + w \frac{d\varphi}{dx} = F_{nc} \cdot f(\varphi) \\ \frac{d\varphi}{dx} = \psi \end{cases} \quad (12)$$

Для исследования устойчивости системы (12) упростим ее, считая, что проникновение кондиционированного воздуха в пористую среду за счет принудительного потока незначительно, т.е. величина w близка к 0. Для удобства обозначим $\psi = Z_1, \varphi = Z_2$, тогда систему (9) можно записать в виде:

$$\begin{cases} D \frac{dZ_1}{dx} = F_{nc} \cdot f(Z_2) = f_1(Z_1, Z_2) \\ \frac{dZ_2}{dx} = Z_1 = f_2(Z_1, Z_2) \end{cases} \quad (13)$$

Система дифференциальных уравнений (10) называется автономной и легко исследуется на предмет устойчивости. Для этого достаточно составить характеристическое уравнение относительно некоторой формальной неизвестной величины λ [4]:

$$\det \left[\frac{df_i}{dx_k}(0) - \lambda \cdot \delta_k^i \right], \text{ где } \delta_k^i = \begin{cases} 1 & \text{если } i = k \\ 0 & \text{если } i \neq k \end{cases} \text{ - символ Кронекера} \quad (14)$$

и проверить его на наличие корней с положительной действительной частью. Если таковые имеются, то система (13) является неустойчивой относительно точки равновесия $Z_i(0)$. В нашем случае характеристическое уравнение имеет вид:

$$\lambda^2 - F_{nc} \frac{df}{d\varphi} = 0. \quad (15)$$

Так как функция $f(\varphi)$ представляет собой адсорбционную кривую, то, в силу монотонного возрастания с ростом φ , ее производная положительна во всем интервале изменения φ и, следовательно, один из корней уравнения (15) положителен, что говорит о возможном нарушении устойчивости при решении системы уравнений (13), а значит, и более сложной системы (12).

Несмотря на возможное нарушение устойчивости системы (13), численные расчеты показали, что для решения системы уравнений (12) вполне пригодным оказался конечно-разностный метод решения систем дифференциальных уравнений Рунге – Кутты с автоматическим выбором шага интегрирования системы.

На рис. 3 приведены кривые изменения относительной влажности воздуха в толщине пористой среды для различных значений параметров процесса: D , м²/с; w , м/с; K ; $F_{\text{пс}}$, м²/м³; l , м.

Анализ произведенных расчетов позволяет сделать вывод, что величина φ монотонно уменьшается с удалением от поверхности до некоторого предельного значения. При этом, как следует из рис. 3а, большие значения удельной поверхности среды, состоящей из капиллярно-пористого текстильного материала, соответствуют более интенсивному падению относительной влажности кондиционированного воздуха φ в движущемся воздушном потоке по мере удаления от внешней границы пористой среды.

Более интенсивное уменьшение φ происходит также при уменьшении скорости движения потока и при меньшем коэффициенте диффузии.

Нами установлено влияние величины эффективного коэффициента диффузии влаги D на процесс увлажнения пористой среды. При расчете D нами был использован поправочный коэффициент, зависящий от скорости потока воздуха. Хорошее совпадение результатов расчетов и экспериментов обеспечила формула $D = D_{\text{пс}} \cdot q \cdot w^p$. В нашем случае получены значения $p = 0,3$, $q = 71$.

Проведено численное исследование влияния скорости воздушного потока на распределение относительной влажности воздуха внутри компактно сформированного текстильного полуфабриката. При этом учитывалось влияние скорости потока воздуха на функцию источника, т.е. $W = f(\varphi, w)$:

$$W_p = K_m \left(k_2 \cdot e^{k_1(\varphi - \varphi_c)} + W_n / \left(1 + (W_n / W_m - 1) e^{-k\varphi} \right) \right), \quad (16)$$

где $K_m = 0,0001 \cdot w^{-0,7}$.

Для повышения точности расчетов скорректирована математическая модель распределения относительной влажности кондиционированного воздуха в пористой среде с учетом возможного падения скорости потока воздуха за счет сопротивления его движению внутри среды. Получено уравнение

$$D \frac{d^2\varphi}{dx^2} - w \frac{d\varphi}{dx} - \varphi \frac{dw}{dx} = F_{\text{пс}} \cdot f(\varphi), \quad (17)$$

при решении которого использованы два вида зависимости скорости движения влажного воздуха от координаты по глубине пористой среды:

$$w(x) = \gamma x + \mu \quad \text{и} \quad w(x) = \gamma \cdot \exp(-\mu \cdot x),$$

при этом $\mu = w(0) = w$, величина γ регулирует скорость падения $w(x)$. Из результатов численных расчетов, представленных на рис. 4, следует, что с ростом скорости потока кондиционированного воздуха увеличивается глубина проникновения влаги в объем пористой среды.

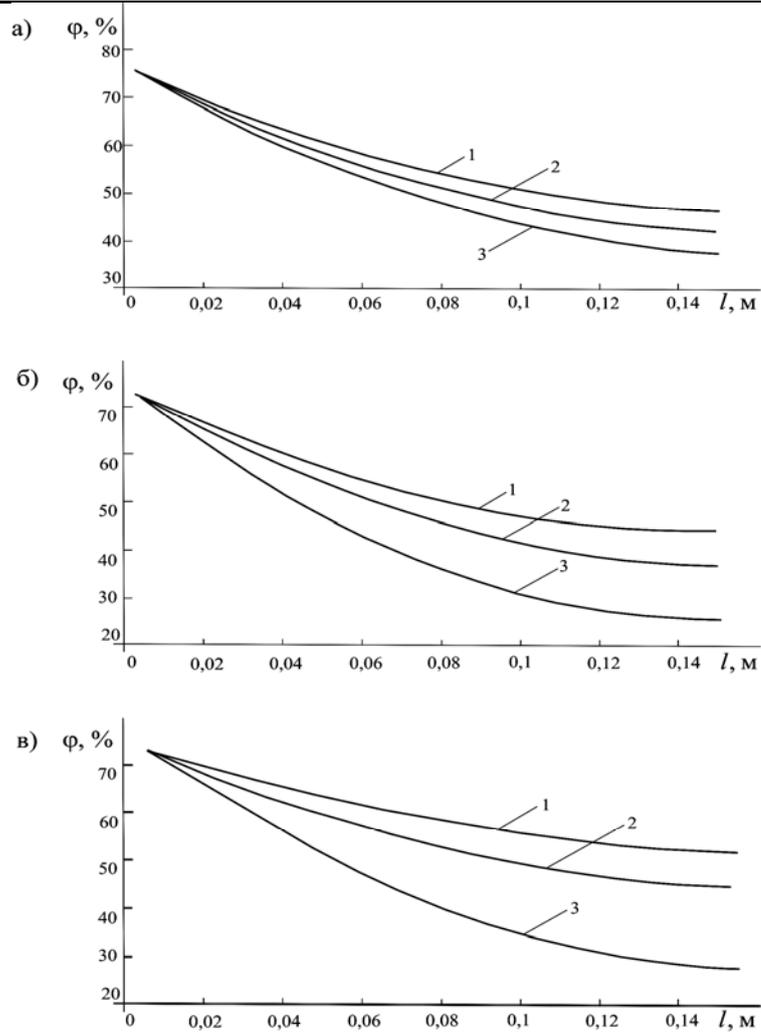


Рис. 3. Распределение относительной влажности кондиционированного воздуха (φ , %) по толщине (l , м) бобины с ровницей:

а – при значениях $F_{\text{пор}}$: 3000 – кривая (1); 3500 – (2); 4000 – (3); $w = 0,24$ $D = 0,15$;

б – при значениях w : 0,3 – кривая (1); 0,2 – (2); 0,1 – (3); $D = 0,15$; $F_{\text{пор}} = 3500$;

в – при значениях D : 0,05 – кривая (1); 0,15 – (2); 0,45 – (3); $w = 0,2$; $F_{\text{пор}} = 3500$

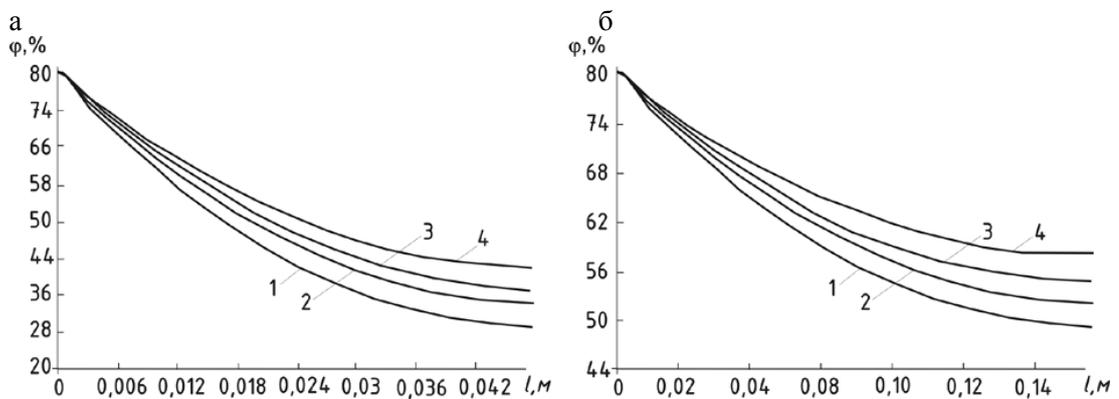


Рис. 4. Графики влияния начальной скорости потока воздуха w на распределение относительной влажности воздуха φ в объеме пористой среды с учетом экспоненциального падения скорости ($\gamma = 0,1$):

а – при $w = 0,2$ м/с – кривая (1); 0,5 м/с – кривая (2); 0,75 м/с – кривая (3); 1 м/с – кривая (4);

б – при $w = 2$ м/с – кривая (1); 4 м/с – (2); 6 м/с – (3); 8 м/с – (4)

Результаты численных расчетов и экспериментальных исследований показали достаточно хорошее их согласование при использовании математической модели (16), (17), построенной с учетом экспоненциального падения скорости потока кондиционированного воздуха в толще пористой среды (рис. 4).

Таким образом, в данной публикации на основе представления компактно сформированного текстильного материала в виде псевдооднородной среды, характеризуемой усредненными физическими и технологическими параметрами, а также на основе физико-математических описаний процессов в объеме капиллярно-пористой коллоидной среды при увлажнении ее принудительным потоком кондиционированного воздуха представлены построенные математические модели и сформулированы краевые задачи, позволяющие рассчитывать распределение относительной влажности кондиционированного воздуха в объеме рассматриваемой пористой среды. Обсуждены методы решения поставленных задач. Приведены расчеты для различных значений технологических и физических параметров и выполнен их простейший анализ.

Список литературы

1. Цветков, Ф.Ф. Теплообмен / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 550 с.
2. Ягодовский, В.Д. Адсорбция / В.Д. Ягодовский. – М.: БИНОМ «Лаборатория знаний», 2015. – 216 с.
3. Агафонов, С.А. Дифференциальные уравнения / С.А. Агафонов, А.Д. Герман, Т.В. Муратова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 348 с.

References

1. Tsvetkov, F.F. Heat and mass transfer / F.F. Tsvetkov, B.A. Grigoriev. – 2nd ed. Rev. and extra. – M.: MEI Publishers, 2005. – 550 p.
2. Yagodovskii, V.D. Adsorption / V.D. Yagodovskii. – M.: BINOM «Laboratory of knowledge», 2015. – 216 p.
3. Agafonov, S.A. Differential equations / S.A. Agafonov, A.D., Herman, T.V. Muratova. – M.: MGTU im. N. Uh. Bauman, 2004. – 348 p.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 528.952: 528.44

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

Белякова Елена Александровна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Кадастр недвижимости и право»
E-mail: var_lena@mail.ru

Маслова Любовь Александровна,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры «Кадастр недвижимости и
право»
E-mail: maslovaLuba@yandex.ru

Ишуева Альбина Исхаковна,
студентка

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

Belyakova Elena Aleksandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
department «Real estate cadastre and right»
E-mail: var_lena@mail.ru

Maslova Lubov Aleksandrovna,
Candidate of of agricultural Sciences,
Associate Professor of department «Real estate
cadastre and right»
E-mail: maslovaLuba@yandex.ru

Ishueva Albina Ishakovna,
student

3D-КАДАСТР: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ

Л.А. Маслова, Е.А. Белякова А.И. Ишуева

Показана необходимость разработки и внедрения в России трехмерного кадастра недвижимости. Приведены возможности прототипа 3D-кадастра на примере сложных трехмерных объектов. Описаны перспективы и результаты внедрения данной технологии в деятельность Росреестра.

Ключевые слова: 3D-кадастр, пилотный проект, объекты недвижимости, перспективы внедрения

3D-CADASTRE: STATUS AND PROSPECTS OF IMPLEMENTATION

L. A. Maslova, E. A. Belyakova, A. I. Isaeva

The necessity of development and implementation of a three-dimensional real estate cadastre in Russia is shown. Opportunities of 3D-inventory prototype on the example of complex three-dimensional objects are presented. The prospects and results of the implementation of this technology in Rosreestr activities are described.

Keywords: 3D-cadastre, a pilot project, real estate, implementation prospects

В России в ближайшее время планируется внедрение трехмерного кадастра недвижимости. Существующая сегодня в Российской Федерации система государственного кадастра и регистрации недвижимого имущества основывается на 2D-представлениях

таких объектов недвижимости, как земельные участки, здания и сооружения. Данный подход не отражает все возможные ситуации, как реальное трехмерное изображение. Примерами объектов, осложняющих четкость отображения предметов на планово-картографическом материале и надлежащую регистрацию их правового статуса, являются многоуровневые комплексы, пересечения различных объектов в пространстве, подземные и надземные инженерные сети и т.д.

Зарубежные страны активно внедряют во всевозможные сферы деятельности 3D-технологии. Так, на сегодняшний день безусловным лидером в области 3D-кадастра признаны Нидерланды, где создана трехмерная модель визуализации объектов, позволяющая делить пространство на слои.

С мая 2010 г. по июнь 2012 г. в России в рамках программы «Правительство для правительства» (G2G) Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии России (Росреестр) и Агентством кадастра, регистрации земель и картографии Нидерландов на территории Нижегородской области был выполнен пилотный проект «Создание модели трехмерного кадастра недвижимости в России». Участниками проекта от российской стороны стали Росреестр, Министерство экономического развития Российской Федерации и Федеральный кадастровый центр «Земля» (г. Нижний Новгород). Представителями голландской стороны были Нидерландский центр «Кадастр», Технологический университет Дельфта и две частные голландские компании: Grontmij Nederland BV и Royal Haskoning BV.

Согласно концепции российского 3D-кадастра, приведенной в [6], пилотный проект разбит на пять этапов.

Первый связан с изучением российской нормативно-правовой базы и ее сопоставлением с организацией процессов получения, хранения и предоставления трехмерной кадастровой информации.

Второй этап предполагает разработку модели получения, хранения и предоставления трехмерной кадастровой информации в России с использованием международного опыта.

Третий этап будет посвящен созданию прототипа трехмерного кадастра.

Наконец, в рамках последних двух этапов планируется подготовить предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы с целью создания благоприятной правовой и организационной среды для использования информации трехмерного кадастра, а также разработать программы обучения.

Апробацию разработанного прототипа системы провели на трех характерных трехмерных объектах Нижнего Новгорода [2, 3].



Рис. 1. Бизнесцентр «Теледом», г. Нижний Новгород

Первым объектом исследования послужило офисное здание бизнес-центра «Теледом» (рис. 1). Это многоуровневое офисное здание с подземной автостоянкой, включающее в себя большое количество помещений с различными видами зарегистрированных прав на них. Одна часть здания нависает над проезжей частью дороги, а другая – расположена над соседним зданием, построенном на смежном участке. Однако на 2D-схеме расположения здания на земельном участке будет показана только площадь застройки, т.е. часть здания, находящаяся на отметке уровня земли.

Второй объект исследования – это жилой комплекс со сложной разноуровневой надземной частью, подземной автостоянкой, многочисленными

помещениями и различными видами прав на них: собственностью, арендой и т.д. На картосхеме показаны возможности разработанного прототипа системы путем создания трехмерной модели визуализации объекта: первый этаж вынесен за пределы здания (рис. 2).

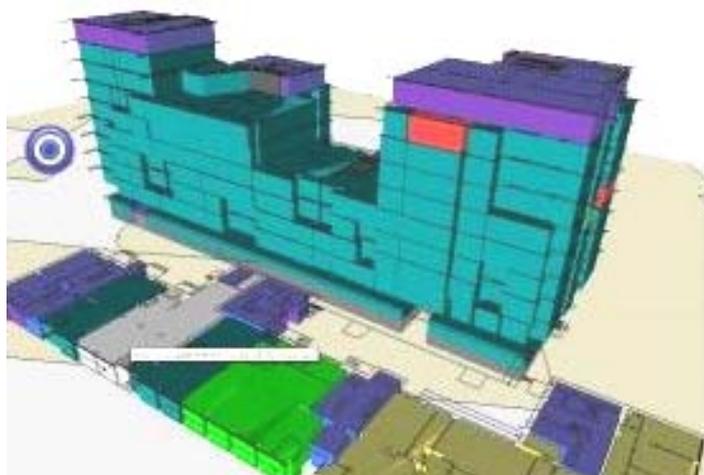


Рис. 2. 3D-модель жилого комплекса с подземной автостоянкой

Третий объект представлен газопроводом среднего давления протяженностью около 70 м. Он проложен под поверхностью земельного участка, на котором размещен комплекс музейных зданий (рис. 3).

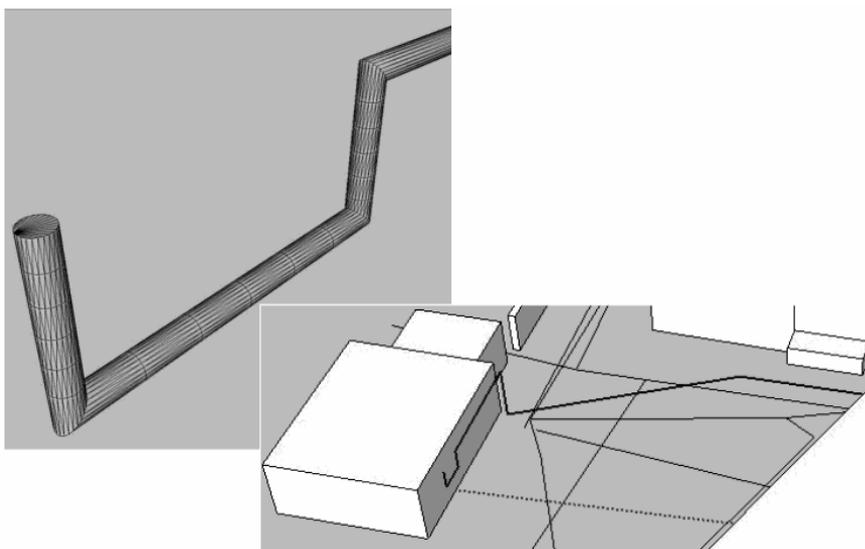


Рис. 3. 3D-модель пилотного объекта «Газопровод»
(модель «мультилиния с диаметром»)

Все эти объекты имеют различных собственников.

Необходимо отметить, что цель проекта заключалась в оценке функциональных возможностей прототипа и использования 3D-кадастровых данных и для лучшей регистрации и учета кадастровых и расширения электронных услуг для различных групп пользователей, а также определении направления для дальнейшего развития.

Концептуальная модель 3D-кадастра разработана согласно ISO 19152:2012 «Географическая информация. Административная модель земельных угодий (LADM)», адаптирована к российским условиям и ориентирована на пять типов объектов недвижимости: земельные участки, здания, помещения, сооружения и объекты незавершенного строительства. Исходя из существующих в России 2D-кадастра и реги-

страции, есть возможность создания юридического 3D-кадастра, основанного на представлении 3D-объектов как многогранников (томов, ограниченных плоскими гранями) или в виде многостраничных полилиний. Изогнутые поверхности аппроксимируются несколькими плоскими гранями. Для технической реализации было выбрано решение с участием существующего 2D-портала, связанное его с новым 3D-просмотром. Это решение является самым простым в реализации и требует минимальных изменений, основываясь на функциональности, поддерживаемой существующим 2D-порталом.

Прототип работает с мощными и функциональными браузерами Internet Explorer и Firefox в сочетании с плагином (BS Contact) для визуализации и взаимодействия с 3D-объектами. Интерфейс состоит из трех основных компонентов:

- *3D-просмотр* позволяет видеть различные варианты визуализации объекта и его частей, в том числе вращение, масштабирование, переключение определенных функций, включение/выключение, а также некоторые специальные функции (например, «идентифицировать» и «перемещение этажей»);

- *окно «Select»* необходимо для просмотра более подробной информации. Оно позволяет видеть различные варианты выбора и визуализации 3D-участков в 3D-объекте в соответствии с заданными критериями;

- *окно «Результаты отбора»* позволяет видеть информацию о выбранных объектах.

Прототип поддерживает поиск на основе таких атрибутов, как имя владельца, кадастровый номер, адрес и т.д. Для каждой категории пользователей существует возможность предоставлять доступ к информации в зависимости от ее конфиденциальности. Кроме того, прототип позволяет отображать или скрывать различные слои (2D-кадастровую карту, топографические карты), а также элементы в 3D-модели объектов недвижимости: планы этажей, стены и др. (рис. 4).

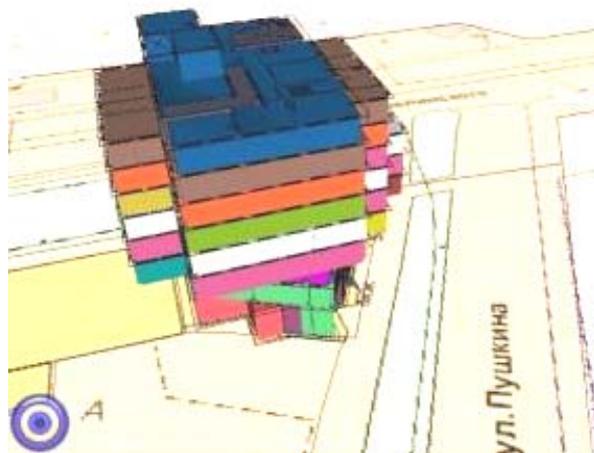


Рис. 4. 3D-модель здания бизнесцентра «Теледом» с различными 3D-единицами, подготовленная в Google SketchUp

Экспертная оценка результатов тестирования пилотного проекта была сделана на основе вопросника, подготовленного для специалистов Росреестра по Нижегородской области. Анализ ответов показывает положительное отношение к возможному введению 3D-кадастра в Российской Федерации, а предложения, высказанные участниками, указывают на высокий уровень интереса и ожиданий.

Используя результаты проекта и испытания опытного образца, были разработаны рекомендации по правовым, организационным и техническим аспектам в целях создания в России благоприятных условий для внедрения и поддержания 3D-кадастра в оперативной реальной ситуации [5].

Следует отметить, что с точки зрения правовых аспектов разработки и внедрения 3D-кадастра в нашей стране в настоящее время российские нормативно-правовые

документы не содержат ссылки на 3D-кадастр. Однако и в них и не найдено препятствий для развития данного проекта.

В то же время ожидаемые выгоды огромны: лучшее описание объектов и прав собственности; выявление ограничений или обязанностей в сложной ситуации, что часто наблюдается в условиях плотной городской застройки. Кроме того, с помощью 3D-кадастра в соответствии с планом можно прийти к современному и инновационному образу Росреестра в сфере информационных технологий. Таким образом, после разработки исходной системы не требуется практически никаких дополнительных расходов, а его введение не повлияет на регистрацию и кадастровые рабочие процессы в Росреестре.

Проведенный анализ показал, что:

1. Использование трехмерного кадастра позволит повысить эффективность и качество проведения работ по учету таких значительных по протяженности элементов инфраструктуры, как коммуникационные сети и трубопроводы, а также сложных многоуровневых комплексов и других объектов, которые могут некорректно отображаться в одноплоскостной проекции.

2. 3D-визуализация образов объектов недвижимости ускорит процесс принятия тех или иных решений специалистами Росреестра и будет способствовать защите интересов государства, бизнеса и граждан.

Таким образом, внедрение подобных решений позволит значительно сэкономить трудовые и материальные ресурсы, существенно расширить возможности предприятия, упростить работу и повысить ее качество.

Список литературы

1. Беляев, В.Л. Опыт и перспективы применения 3D-кадастра при управлении градостроительным развитием подземного пространства / В.Л. Беляев, В.М. Романов // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2014. – №1(148). – С. 53–76.
2. Кошко, А.А. Архитектура прототипа и формата данных 3D-кадастра в России / А.А. Кошко // Молодой ученый. – 2014. – №11. – С. 61–64.
3. Байрактар, К.Ф. Трехмерный кадастр недвижимости в России / К.Ф. Байрактар // Программные продукты, системы и алгоритмы. – 2015. – №2. С. 1-4.
4. Калачёва, Н.И. Применение 3D кадастра с временной составляющей в земельно-имущественных отношениях дорожного хозяйства / Н.И. Калачёва //САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2013. – № 1. – С.67-69.
5. Российско-нидерландский проект «Создание модели трехмерного кадастра недвижимости в России (G2G10/ RF/9/1)»: заключительный отчет. – URL: https://rosreestr.ru/wps/portal/cc_news7news_id=16202&news_line_id=11662.
6. Официальный портал Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии Российской Федерации. – URL: <https://rosreestr.ru/>.

References

1. Belyaev, L.V. Experience and prospects of application of 3D-cadastre in the management of town-planning development of underground space / V.L. Belyaev, V.M. Romanov // Property relations in the Russian Federation. – 2014. – №1(148). – P. 53–76.
2. Koshko, A.A. Architecture of the prototype and the data format of 3D cadastre in Russia / A.A. Koshko // Young scientist. – 2014. – No. 11. – P. 61–64.
3. Bayraktar, K.F. Three-Dimensional real estate cadastre in Russia / K.F. Bayraktar // Software products, systems and algorithms. – 2015. – No. 2. – P. 1–4.
4. Kalacheva, N.I. The application of 3D-cadastre with temporal component in land and property relations of road economy / N.I. Kalacheva //CAD and GIS roads. 2013. – No. 1. – P. 67–69.
5. Russian-Dutch project "the Creation of a model of three-dimensional real estate cadastre in Russia (G2G10/ RF/9/1)": final report. – URL: https://rosreestr.ru/wps/portal/cc_news7news_id=16202&news_line_id=11662.
6. Official portal of the Federal service for state registration, cadastre and cartography of the Russian Federation. – URL: <https://rosreestr.ru/>.

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

Мебадури Зураб Анзорович,
кандидат экономических наук, доцент
кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: meba67@mail.ru

Учаева Татьяна Владимировна,
кандидат экономических наук
доцент кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

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

Mebaduri Zurab Anzorovich,
Candidate of Economic Sciences, Associate
Professor of the department « Economics,
Organization and Management»
E-mail: meba67@mail.ru

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Candidate of Economics, Associate Professor
of the department «Economics, Organization
and Management»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

З.А. Мебадури, Т.В. Учаева

Предлагаются усовершенствованные методы монолитного строительства, которые позволят снизить затраты и повысить эффективность деятельности строительных предприятий.

Ключевые слова: монолитное строительство, строительные предприятия, повышение конкурентоспособности предприятий, современные технологии при монолитном строительстве, Пензенская область

IMPROVING THE EFFICIENCY OF BUILDING ENTERPRISES ON THE BASIS OF MODERN METHODS OF ORGANIZATION AND TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CONSTRUCTION

Z.A. Mebaduri, T.V. Uchaeva

Improved methods of monolithic building, which reduce the costs and increase the efficiency of construction companies are proposed.

Keywords: high-rise building, building enterprises, increase of enterprises competitiveness, advanced technology in monolithic building, Penza region

Во всём многообразии видов коммерческой деятельности строительство было и остаётся одной из ведущих отраслей. Оно оказывает решающее влияние на развитие огромного количества смежных отраслей материального производства. Сейчас строительство стремительно развивается, появляются новые технологии, ведутся работы по улучшению уже существующих.

Современные технологии, применяемые на сегодняшний день, позволяют возводить строения трех типов: кирпичные, монолитные и панельные.

По данным Росстата, в России в 2015 году было возведено 28592,1 тыс. м² кирпичных зданий, панельных – 9846,5 тыс. м², монолитных – 13824,1 тыс. м². 55 % построенных зданий приходится на кирпичное строительство, 26 % – на монолит-

ное, 19 % – на панельное. Если смотреть динамику по России, то панельные дома постепенно уходят на третий план. В России набирает темпы монолитное строительство, но все еще не в таких масштабах, как кирпичное. Конечно, это связано с приобретением дорогостоящей качественной современной опалубки из силикатного кирпича, которая используется во всем мире [1].

Можно заметить, что с 2012 года и по сей день монолитное строительство набирает темпы, вытесняя панельное (рис. 1).

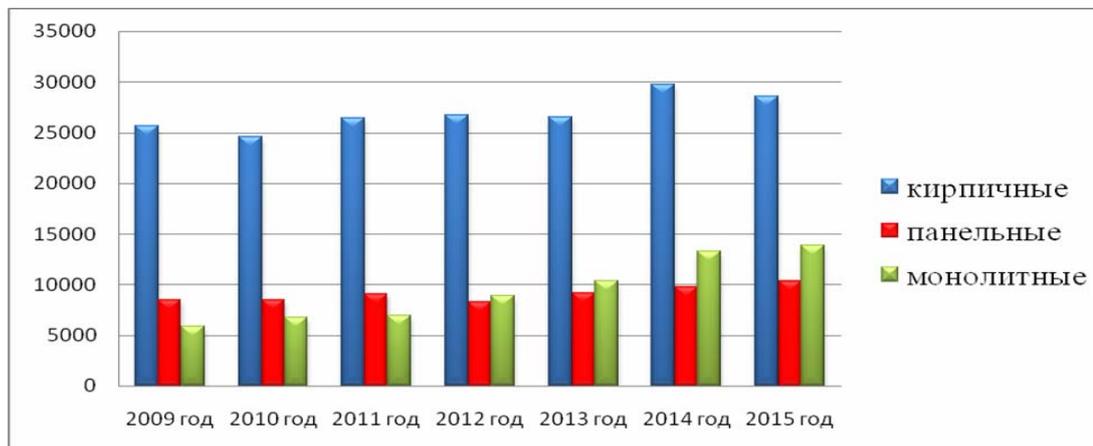


Рис. 1. Ввод общей площади зданий в Российской Федерации, тыс.м² (по материалам стен)

Рассматривая рынок новостроек по типу домостроения в г. Пензе, можно сказать, что панельные дома вытесняются кирпичными и монолитно-кирпичными, но в эконом-классе еще удерживают свои позиции. В процентном соотношении их распределение можно увидеть на рис. 2.

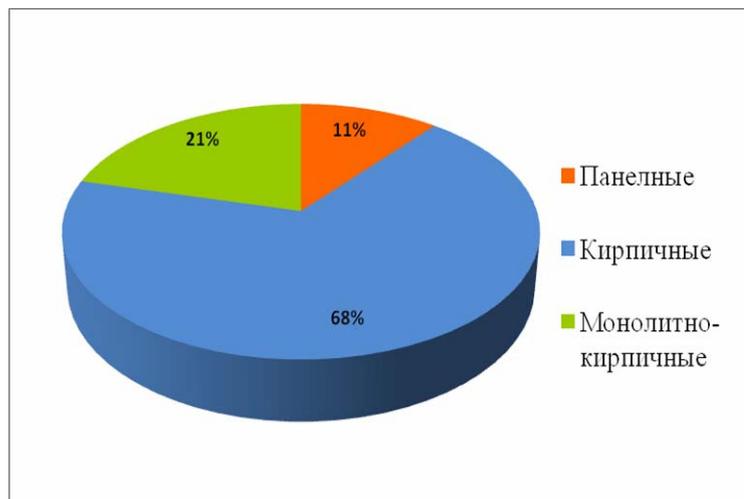


Рис. 2. Структура новостроек г. Пензы (по типу строительства)

В г. Пензе преимущественно строятся кирпичные дома. В 2015 году было построено 424,908 тыс. м² кирпичных зданий, что составляет 72 % от всех построек. Панельных же зданий было возведено 144,497 тыс. м² (24,6 %). Монолитное строительство, к сожалению, применяется не так активно; прежде всего связано это с устаревшими технологиями и низким уровнем инноваций в строительстве монолитных конструкций, дорогостоящей опалубкой, которую многие строительные организации не могут себе позволить, в отличие от крупных городов, таких, как Москва, Санкт-Петербург и т.д. В г. Пензе монолитных зданий в 2015 году было построено 16,491 тыс м² (2,8 %). На рис. 3 показан объём (тыс. м²) общей площади зданий по типам строительства.

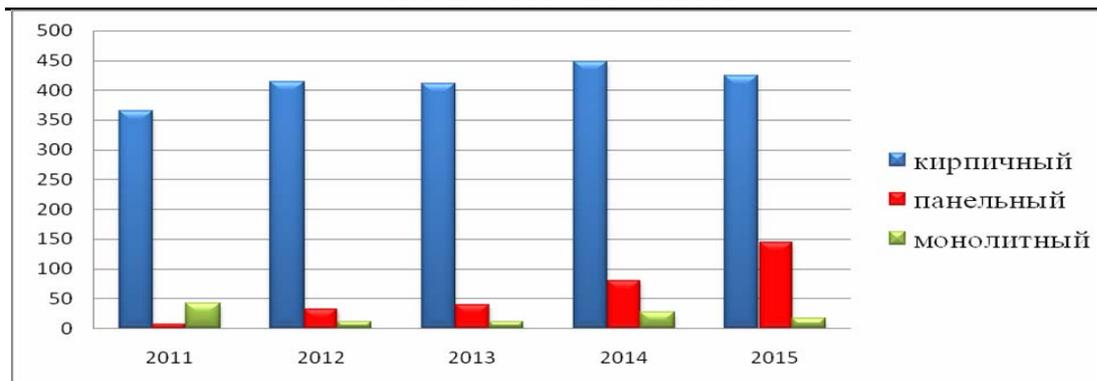


Рис. 3. Ввод общей площади зданий в г.Пензе (по материалам стен)

Средняя цена за 1 кв. м на первичном рынке варьируется в зависимости от класса жилья от 30000 руб. до 60000 руб. Средняя же цена по состоянию на начало 2015 г. установилась на уровне 43344 руб., на вторичном рынке – 49 319 руб. Не смотря на постоянно растущие цены на квадратные метры жилья, спрос на квартиры увеличивается от года к году.

При этом средняя стоимость квартир в эконом-классе составила 41 тыс. рублей за кв.м, в то время как средняя стоимость квартир среднего ценового сегмента составила 46100 руб. за кв. м. Жилье бизнес и элит-классов реализовывалось соответственно по цене в 59200 и 62000 руб. за кв. м.

В настоящее время особенно актуальна проблема снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности продукции. Поэтому целесообразно осуществлять поиск новых путей и методов, которые будут способствовать повышению эффективности деятельности предприятий и их конкурентоспособности. Одним из таких методов может стать развитие в г. Пензе и Пензенской области монолитного строительства.

Монолитное домостроение по большинству технико-экономических показателей имеет преимущества по сравнению с кирпичным домостроением, а в ряде случаев и с крупнопанельным: единовременные затраты на создание производственной базы меньше, чем в кирпичном строительстве, на 35 % и чем в крупнопанельном – на 40–45 %; расход стали в конструкциях снижается на 7–25 % по сравнению с крупнопанельным (экономия увеличивается по мере повышения этажности и сейсмической активности района строительства); расход стали на опалубку с учетом оборачиваемости форм снижается на 1,5 кг на 1 м² общей площади в сборных конструкциях до 1 кг в монолитных. Энергетические затраты на изготовление и возведение монолитных конструкций ниже на 25–35 % по сравнению со сборными и кирпичными: трудовые затраты снижаются в среднем на 25–30 %, а продолжительность строительства сокращается на 10–15 % по сравнению с кирпичным. Стоимость строительства с учетом этажности зданий, архитектурно-планировочного решения и действующих цен на материалы и конструкции в среднем на 10 % ниже, чем кирпичного, и на 5 % ниже, чем крупнопанельного.

Огромное количество высотных зданий как в Европе, так и в России, построены с использованием технологий монолитостроения.

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод, что монолит обладает безусловными преимуществами. Технология возведения зданий и сооружений из железобетона позволяет в короткие сроки возводить здания и сооружения практически любой этажности и формы. Являясь наиболее прогрессивной на сегодняшний день строительной технологией, монолитное строительство оказывается и наиболее выгодной экономически. С учетом стоимости материалов, проводимых работ и сопутствующих затрат получается, что монолитное строительство выгоднее, чем, например, применение сборных конструкций при выполнении тех или иных проектов.

Большинство строительных компаний г. Пензы используют технологию кирпичного и панельного возведений зданий. Кирпич – это надежно и доступно, но по-

прежнему строительству по данной технологии остается достаточно трудоемким и дорогостоящим процессом. Панель – это относительно низкая стоимость жилья и высокая скорость его возведения. Вариант с монолитным возведением зданий является самым оптимальным в соотношении «цена – качество – сроки возведения», но, к сожалению, в г. Пензе данный вид строительства не применяется в широких масштабах. Данный вид строительства предполагает высокие затраты на качественную современную опалубку, высококачественную бетонную смесь. Также строительные компании г. Пензы применяют уже устаревшие технологии строительства. Вязка арматуры происходит вручную, что делает процесс строительства более трудоемким и дорогостоящим.

Внедрение новых технологий монолитного строительства в городе Пензе позволит строительным предприятиям выйти на новый уровень: нарастить объемы строительства, сократить сроки возведения зданий, сократить затраты на строительство жилья, что в дальнейшем позволит снизить стоимость квадратного метра и сделать жилье более доступным и комфортным для населения.

Одна из таких технологий в монолитном домостроении – несъемная опалубка.

Несъемная опалубка – блоки или панели из различных материалов, которые монтируются в единую опалубочную конструкцию – форму для укладки монолитного армированного бетона. Данная технология ускоряет и упрощает строительство за счёт объединения нескольких операций в одном технологическом цикле (несущая стена с нужным сопротивлением теплопередаче возводится за один технологический цикл). Несъемная опалубка после схватывания в ней бетона становится функциональной частью конструкции готовой стены.

Несъемная опалубка широко используется при возведении малоэтажных жилых домов. Стены, выполненные по монолитной технологии, практически не имеют швов, поэтому не возникает проблем со стыками и их герметизацией. Из характеристик монолитного дома особое значение имеют его жесткость и прочность.

В г. Пензе, в основном, работы ведутся с щитовой опалубкой, что подразумевает сложность обеспечения качества бетона в углах ячеек, относительно высокую трудоемкость и продолжительность строительства и необходимость дополнительных мер по обеспечению качества поверхности стен.

Развитие в г. Пензе малоэтажного строительства с применением технологии несъемной опалубки может стать одним из способов повышения эффективности производственной деятельности городского строительства.

Совершенствование процесса производства на основе внедрения инновационных технологий армирования монолитных конструкций на строительных предприятиях, бесспорно, приведет к повышению эффективности строительной деятельности.

При создании монолитов больше всего времени занимает возведение арматурного каркаса, при котором несколько сотен прутьев разного диаметра и длины переплетаются в сложную объемную решетчатую конструкцию.

Применение в строительстве готовых арматурных каркасов ведет к сокращению расходов на складирование металла. Уменьшаются затраты на амортизацию и электроэнергию, а высвобождение значительных производственных площадей даст возможность использовать их по назначению, то есть для профильной деятельности. При этом снижаются затраты строителей на оплату труда представителей некоторых профессий, так, например, сварные работы практически полностью исключаются из производственного цикла.

По подсчетам специалистов компании, проводивших такие исследования, средняя скорость возведения объектов увеличивается в 1,3–1,8 раза. А это снижает затраты и повышает конкурентоспособность строительной организации на рынке, поскольку готовые каркасы изготавливаются на высокотехнологичном оборудовании по чертежам заказчика и доставляются в оговоренные сроки непосредственно на строительную площадку [2].

Также от применения готовых арматурных сеток, каркасов и различных металлических деталей компания может получить сокращение времени на производство монолитных работ [3].

Строительным предприятиям г. Пензы предлагается использовать уже опробованную и признанную эффективной технологию армирования монолитных конструкций, которая подразумевает перенесение производства арматурных конструкций в заводские условия. За счет этого у предприятий снизятся затраты на производство, появятся дополнительные денежные средства, использование которых рекомендуется направить на организацию подобного производства, которое компания может организовать или собственными силами, или на основе долевого участия нескольких компаний.

В традиционном представлении важнейшими путями снижения затрат является экономия всех видов ресурсов, потребляемых в производстве: трудовых, финансовых и материальных.

Так, значительную долю в структуре издержек производства любого строительного предприятия занимает оплата труда. Поэтому актуальна задача снижения трудоемкости выпускаемой продукции, роста производительности труда.

Снижение трудоемкости продукции, роста производительности можно достичь различными способами. Наиболее эффективные из них – механизация и автоматизация производства, разработка и применение прогрессивных, высокопроизводительных инновационных технологий [4].

Широкое использование прогрессивных технологий в сегодняшних условиях – один из очень немногих технологически и экономически выгодных способов восстановления и развития строительной отрасли. Возможности повышения производительности труда, экономии материалов и энергоресурсов делают внедрение прогрессивных технологий чрезвычайно актуальным.

По техническим возможностям инновационные прогрессивные технологии превосходят традиционные. Однако в настоящее время их внедрение в отрасль сдерживается высокой стоимостью оборудования. В г. Пензе армирование монолитных конструкций ведется по старым технологиям с использованием, в основном, ручного труда. Покупка и организация производства по выпуску готовых арматурных конструкций позволит существенно снизить многие затраты. В частности, снизятся затраты на заработную плату за счет сокращения численности рабочих, занятых производством арматурных конструкций, так как новая линия оборудования полностью автоматизирована и затраты ручного труда сведены к минимуму.

Для больших объемов строительства (строительство микрорайонов) можно рассмотреть создание стационарных металлоцехов, которое позволит сократить трудоемкость, а также сэкономить на перевозке готовых арматурных сеток, что также повысит производительность и качество возводимых объектов.

Так как с применением новой технологии армирования монолитных конструкций значительно возрастет скорость возведения объектов, следовательно, может возникнуть проблема с реализацией произведенной продукции. Для решения данной проблемы предлагается сконцентрировать внимание на четкой организации работы службы маркетинга, на том, как специалисты этого отдела помогают предпринимателю повысить эффективность, а следовательно, и прибыльность фирмы.

В связи с высокими темпами роста монолитного строительства в последнее время резко возрос спрос не только на качественную арматуру, но и на специалистов в области монтажа арматурных элементов для последующей сборки и заливки бетоном.

От качества выполненных работ напрямую зависит качество строительной продукции и дальнейшая ее эксплуатация.

Поэтому повышение квалификации работников необходимо для повышения эффективности монолитного строительства.

Выводы

1. Повышение эффективности деятельности строительного предприятия может быть основано на применение строительными предприятиями г. Пензы технологии несъёмной опалубки.

2. Строительные предприятия г. Пензы могут использовать уже опробованную и признанную эффективной технологию армирования монолитных конструкций, которая подразумевает перенесение производства арматурных конструкций в заводские условия.

3. Для строительства микрорайонов можно рассматривать создание стационарных металлоцехов, позволяющих сократить трудоемкость процесса строительства.

4. Необходимо повышение квалификации работников, которая позволит увеличить эффективность монолитного строительства.

Предлагаемые рекомендации, несомненно, повлекут при их внедрении снижение затрат на производство, а следовательно, снизится себестоимость квадратного метра, в результате чего возрастет прибыль предприятия.

Внедрение новых технологий при возведении монолитных зданий в г. Пензе необходимо. Это влечет за собой снижение себестоимости, а значит, монолитный дом станет более доступным для населения, и, соответственно, улучшится качество жилья. Применение уже готовых арматурных сеток ускорит процесс строительства, сделает его менее трудоемким и более качественным и безопасным. Создание стационарных металлоцентров на территории массовой застройки приведет к уменьшению затрат на перевозку готовых арматурных сеток. Увеличатся объемы строительства, что повысит прибыль и конкурентоспособность строительных предприятий.

Список литературы

1. Официальный сайт Государственного комитета по статистике. – URL: <http://www.gks.ru/>
2. Кожейкин, А. Сталепромышленная компания, новые возможности монолитного строительства / А. Кожейкин // СтройЭксперт. – 2008. – № 11.
3. Фазеева, Л. Информационные технологии для стройиндустрии / Л. Фазеева. – URL: <http://www.it4stroy.ru>, 2014.
4. Мхисторян, Н. Новая технология в монолитном строительстве / Н. Мхисторян, Г. Бадеян, З. Малацидзе // Капстроительство. – 2013. – №5.

References

1. The official website of the State Statistics Committee. – URL: <http://www.gks.ru/>
2. Kozheykin, A. Steel Industrial Company, new features mono litnogo construction / A. Kozheykin // Stroiekspert. – 2008. – № 11.
3. . Fazeeva, L. Information technology for the construction industry / A. Fazeeva. – URL: <http://www.it4stroy.ru>, 2014.
4. Mhistoryan, N. The new technology in concrete construction / N. Mhistoryan, G. Badeyan, W. Malatsidze // Capital construction. – 2013. – №5.

УДК 691
УДК 691.535

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Жегера Кристина Владимировна,
аспирант кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: jegera@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Zhegera Christina Vladimirovna,
Postgraduate of the department «Quality
management and construction technologies»
E-mail: jegera@yandex.ru

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО ПРОДУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОАО «ЖБК-1» (Г. ПЕНЗА)

К.В. Жегера

Представлены результаты оценки конкурентоспособности строительного предприятия ОАО «ЖБК-1» г. Пензы. Рассмотрена весомость каждого фактора, влияющего на производственный потенциал предприятия. По результатам оценки производственного потенциала предприятия разработаны рекомендации по повышению конкурентоспособности предприятия ОАО «ЖБК-1» г. Пензы.

Ключевые слова: конкурентоспособность, производственный потенциал, строительное предприятие, весомость

ASSESSMENT OF THE COMPETITIVENESS OF CONSTRUCTION COMPANY AND ITS PRODUCTS ON THE EXAMPLE OF LLC «CONCRETE PLANT-1» (Penza)

Ch.V. Zhegera

The results of the evaluation of the competitiveness of a building enterprise of LLC «CONCRETE PLANT-1», Penza are presented. We consider the weight of each factor affecting the production potential of the enterprise according to. The evaluation of industrial potential of the enterprise recommendations on the improvement the competitiveness of the enterprise LLC «CONCRETE PLANT-1», city Penza have been developed.

Keywords: competitiveness, production capacity, construction company, weight

Конкурентоспособность строительного предприятия можно определить по его готовности осуществлять прибыльную хозяйственную деятельность в условиях конкурентного строительного рынка. Конкурентоспособность продукции зависит от ряда факторов, влияющих на предпочтительность товаров и определяющих объем их реализации на данном рынке. Эти факторы можно считать составляющими конкурентоспособности и разделить на три группы: технико-экономические (или статичные), коммерческие (динамичные), нормативно-правовые факторы [1–5].

Наиболее важным аспектом обеспечения конкурентоспособности предприятия является максимальное использование производственного потенциала предприятия. Благодаря использованию полного производственного потенциала на предприятии можно выпускать качественную продукцию при минимальных ресурсных затратах.

Производственный потенциал предприятия определяется несколькими составляющими: кадровый потенциал; ресурсы; стабильность и управляемость технологических процессов; финансовое положение [6–11].

Производственный потенциал предприятия можно выразить формулой

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n, \quad (1)$$

где β – коэффициент весомости; x – фактор, влияющий на производственный потенциал предприятия.

Применяя экспертный метод оценки, определена степень влияния каждого фактора на конкурентный потенциал предприятия.

В табл. 1 представлены оценки экспертной группы каждого фактора, влияющего на производственный потенциал предприятия.

Т а б л и ц а 1

Оценка факторов, влияющих на производственный потенциал предприятия

Объект экспертизы	Оценка эксперта					Сумма рангов	S	S ²
	1	2	3	4	5			
Кадровый потенциал	4	2	3	3	4	16	1	1
Стабильность процесса	5	4	4	5	4	22	7	49
Управляемость	3	5	5	4	5	22	7	49
Ресурсы	1	1	2	1	2	7	-8	64
Финансовое положение	2	3	1	2	1	9	-6	36

Коэффициент конкордации:

$$W = 12 \cdot \frac{199}{25 \cdot (125 - 5)} = 0,8. \quad (2)$$

Значимость коэффициента конкордации:

$$\chi^2 = 0,8 \cdot 5 \cdot (5 - 1) = 16. \quad (3)$$

Так как $\chi^2 > \chi^2_{\text{табл}}$, то показатель коэффициента конкордации является значимым с установленной вероятностью 95 %.

В табл. 2 представлены значения коэффициентов весомости каждого объекта.

Т а б л и ц а 2

Весомость факторов

Объект экспертизы	Коэффициент весомости
Кадровый потенциал	0,21
Стабильность процесса	0,29
Управляемость	0,29
Ресурсы	0,09
Финансовое положение	0,12

Благодаря полученным данным можно преобразовать модель производственного потенциала предприятия в виде:

$$y = 0,21x_1 + 0,29x_2 + 0,29x_3 + 0,09x_4 + 0,12x_5. \quad (4)$$

В табл. 3–7 приведена количественная оценка факторов, влияющих на производственный потенциал предприятия, по 5-балльной шкале.

Т а б л и ц а 3

Оценка стабильности технологического процесса

Стабильность процесса	Балл
Стабилен и воспроизводим	5
Стабилен, но невоспроизводим	3-4
Воспроизводим, но нестабилен	3-4
Невоспроизводим и нестабилен	2

Т а б л и ц а 4

Оценка кадрового потенциала

Кадровый потенциал	Балл
Стаж более 25 лет, ВПО	5
Стаж более 25 лет СПО и НПО	4
Стаж более 25 лет, начальное среднее образование	3
Стаж менее 25 лет, ВПО	4
Стаж менее 25 лет СПО и НПО	2
Стаж менее 25 лет, начальное среднее образование	2

Т а б л и ц а 5

Оценка управляемости технологического процесса

Управляемость технологического процесса	Балл
Процесс управляем	5
Процесс неуправляем	2

Т а б л и ц а 6

Оценка ресурсов предприятия

Ресурсы	Балл
Непостоянные поставщики	3
Постоянные поставщики	5

Т а б л и ц а 7

Оценка финансового состояния

Финансовое состояние	Балл
Ежегодный прирост прибыли	5
Нестабильность прибыли	3-4
Доходы покрывают расходы	3-4
Доходы не покрывают расходы	2

Максимальное значение производственного потенциала составляет 5 баллов. Был проведен анализ использования производственного потенциала строительного предприятия ОАО «ЖБК-1» (г. Пенза) на примере производства блоков бетонных для стен подвалов (ФБС) по формуле (5) [12].

$$\Pi = \frac{y_{\Pi}}{y} \quad (5)$$

Учитывая состояние стабильности технологического процесса, финансовое состояние и состояние других факторов на предприятии ОАО «ЖБК-1», значение производственного потенциала составляет:

$$y_{\Pi} = 0,21 \cdot 4 + 0,29 \cdot 4 + 0,29 \cdot 5 + 0,09 \cdot 5 + 0,12 \cdot 3 = 4,26 \quad (6)$$

Установлено:

$$\Pi = \frac{y_{\text{п}}}{y} = 0,8, \text{ или } 80\% . \quad (7)$$

Установлено, что предприятие использует свой производственный потенциал только на 80 %, следовательно, необходимо провести мероприятия по повышению использования потенциала для обеспечения конкурентоспособности предприятия на рынке г. Пензы.

Основные пути повышения использования производственного потенциала предприятия состоят во вскрытии экстенсивных и интенсивных резервов, а также в повышении общеобразовательного и технического уровня рабочих [13–15].

К основным рекомендациям по повышению потенциала конкурентоспособности предприятия ОАО «Завод ЖБК-1» (г. Пенза) можно отнести:

– обеспечение стабильности и воспроизводимости технологического процесса производства ФБС благодаря применению статистических методов регулирования технологических процессов и контроля – контрольные карты Шухарта, использование технологической карты и внедрение стандарта организации для блоков бетонных для стен подвалов;

– использование экстенсивных и интенсивных резервов предприятия. Экстенсивные резервы находят свое конкретное выражение в следующем:

- сокращение производственных циклов сборочно-монтажных работ;
- увеличение количества единиц фактически работающего оборудования;
- совершенствование организации ремонта оборудования;

Интенсивные резервы находят свое конкретное выражение в следующем:

- расширение номенклатуры
- углубление специализации цехов и участков с целью увеличения серийности производства и внедрения прогрессивной технологии;
- расширение унификации, нормализации и стандартизации изделий;
- обновление и модернизация оборудования;
- внедрение научной организации труда на рабочих местах;
- внедрение на предприятии стандарта организации и применение технологических карт на конкретный вид продукции.

Список литературы

1. Матвейчук, В.В. Теоретические и методологические основы оценки и повышения конкурентоспособности строительных предприятий (на материалах строительных предприятий Польши): автореф. дис. ... д-ра экон. наук / В.В. Матвейчук. – Минск, 2005. – С. 139–140.
2. Фасхиев, Х.А. Определение конкурентоспособности предприятия / Х.А. Фасхиев // Маркетинг в России и за рубежом. – 2009. – №4. – С. 34–36.
3. Джаферова, С.Э. Проблемы повышения конкурентоспособности строительных организаций / С.Э. Джаферова // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник. – Симферополь: Крымский инженерно-педагогический университет, 2006. – №71. – С. 115–120.
4. Романова, А.И. Конкурентоспособность предприятия: методы оценки, стратегии повышения / А.И. Романова // Современная конкуренция. – 2007. – № 5. – С. 78–85.
5. Никулушкин, Д.С. Повышение конкурентоспособности предприятия на основе модернизации / Д.С. Никулушкин, Л.А. Прошкина // Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны: материалы международной научно-практической конференции. – 2011. – Ч.2. – С. 284–287.
6. Карсунцева, О.В. Оценка и формирование производственного потенциала промышленного предприятия как условие его конкурентоспособности: автореф. дис. канд. экон. наук / О.В. Карсунцева. – Самара, 2007. – 183 с.

7. Логанина, В.И. Оценка потенциала производственного процесса предприятий стройиндустрии / В.И. Логанина, А.В. Вирясова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2015. – №1(1). – С.44–46.
8. Логанина, В.И. Выбор поставщиков сырья в зависимости от состояния процесса производства продукции / В.И. Логанина, Т.В.Учаева, А.А.Бахтеева // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1(18). – С.170–174.
9. Шевченко, Д.К. Проблемы эффективности использования потенциала / Д.К. Шевченко. – М.: КНОРУС. – 2005. – 231 с.
10. Блинов, А.О. Имидж организации как фактор ее конкурентоспособности / А.О. Блинов, В.Я. Захаров // Менеджмент в России и за рубежом. – 2003. – №4. – С. 20–24.
11. Фомченкова, Л.В. Потенциал конкурентоспособности предприятия – основа повышения конкурентоспособности промышленного предприятия / Л.В. Фомченкова, М.И. Длин // Российское предпринимательство. – 2005.–№1(61).–С. 66–71. – URL: [http://www.creativeconomy.ru/Articles/6879/free access](http://www.creativeconomy.ru/Articles/6879/free%20access), свободный доступ
12. Документация ОАО «ЖБК-1», г. Пенза. – URL: <http://www.didal.sura.ru/infog8.html>, свободный доступ
13. Кондо Й. Управление качеством в масштабах компании: становление и этапы развития / Й. Кондо; пер. с англ. Е.П. Маркова, научное редактирование к.т.н. А.В. Глазунов. – Н. Новгород: СМЦ «Приоритет», 2002. – 252 с.
14. Логанина, В.И. Формирование организационно-экономического механизма управления потенциалом конкурентоспособности предприятий промышленности строительных материалов / В.И. Логанина, Б.Б. Хрусталева, Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С.142–145.
15. Ильенкова, С.Д. Управление качеством / С.Д. Ильенкова. – М.: Юнити, 2009. – 352 с.

References

1. Matveychuk, V.V. Theoretical and methodological bases of evaluation and improvement of competitiveness of the building enterprises (on materials of construction companies in Poland): Author. Dis. for the degree of Ph.D. / V.V. Matveychuk. – Minsk, 2005. – P. 139–140.
2. Faskhiev, H.A. Defining the competitiveness of enterprises / H.A. Fashiev // Marketing in Russia and abroad. – 2009. – №4. – P. 34–36.
3. Dzhaferova, S.E. Problems of improving the competitiveness of the building organizations / S.E. Dzhaferova // Utilities cities: Scientific-technical collection. – Simferopol: Crimean Engineering and Pedagogical University, 2006. – №71.– P. 115–120.
4. Romanova, A.I. Konkurentosposobnost enterprise: the methods of assessment, a strategy to improve / A.I. Romanova // Modern competition. – 2007. – № 5. – P. 78–85.
5. Nikulushkin, D.S. Enhancing competitiveness of the enterprise on the basis of modernization / D.S. Nikulushkin, L.A. Proshkina // Youth and Science: modernization and innovative development of the country. Proceedings of the international scientific-practical conference. – 2011. – Part 2. – P. 284–287.
6. Karsuntseva, O.V. Estimation and formation of the productive capacity of the industrial enterprise as a condition of its competitiveness: Author. Dis. cand.ehkon. Sciences.Samara, 2007 – 183 p.
7. Loganina, V.I. Assessing the potential of production enterprises of building / V.I. Loganina, A.V. Viryasova // Herald PGUAS construction, science and education. – 2015. – №1 (1). – P.44–46.
8. Loganina, V.I. Selection of suppliers of raw materials, depending on the state of the process of production / V.I. Loganina, T.V. Uchaeva, A.A. Bakhteeva // Regional architecture and engineering. – 2014. – №1 (18). – P.170–174.
9. Shevchenko, D.K. Problems of efficient use of the capacity / D.K. Shevchenko. – М.: КНОРУС, 2005. – 231 p.

10. Blinov S.A. The image of the organization as a factor of competitiveness / S.A. Blinov, V.Y. Zakharov // *Management in Russia and abroad*. – M., 2003. – №4. – P. 20–24.
11. Fomchenkova, L.V. The potential of competitiveness of the enterprise – the basis of industrial competitiveness / L.V. Fomchenkova, M.I. Dlee // *Length of Russian Entrepreneurship*. – 2005. – №1(61). – P.66–71. – URL: <http://www.creativeconomy.ru/Articles/6879/> / free access
12. Elektronny access to the documentation of «JBK-1», Penza. – URL: <http://www.didal.sura.ru/infog8.html>, free access
13. Kondo, J. Quality Management across the company: the formation and development stages / J. Kondo; Trans. from English. E.P. Markov, scientific editing Ph.D. A.V. Glazunov. – Nizhny Novgorod: SMC «Priority», 2002. – 252 p.
14. Loganina, V.I. Formation of the organizational-economic mechanism of management potential of competitiveness of enterprises of the industry of building materials / V.I. Loganina, B.B. Khrustalev, T.V. Uchaeva // *Regional architecture and engineering*. – 2013. – №1. – P.142–145.
15. Ilenkova S.D. Quality control / S.D. Ilenkova. – M.: «Unity», 2009. – 352 p.

Указатель статей, опубликованных в 2016 г.

1. **Kudryavtsev P., Figovsky O.** Application of ultracentrifugation method for determining particle sizes in the colloidal solutions of metal oxides. – №2(27). – С.21–32.
2. **Figovsky O.** Innovative engineering. – №4(29). – С.125–130.
3. **Figovsky O., Leykin A., Shapovalov L.** Nonisocyanate polyurethanes – from scientific research to industrial production. – №1(26). – С.4–19.
4. **Абрашитов В.С., Жуков А.Н., Устинова А.В.** Определение категорий технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений. – №4(29). – С.67–70.
5. **Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Родионов Ю.В., Аверкин Ю.А.** Расходомер для поверки счетчиков холодной, горячей воды и газа. – №1(26). – С.120–123.
6. **Алфимова Н.И., Никифорова Н.А.** Оптимизация параметров изготовления композиционных вяжущих на основе вулканического сырья. – №4(29). – С.33–39.
7. **Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Камбург В.Г., Князев В.А.** Флотационная очистка производственных сточных вод: математическое моделирование процессов гидродинамического диспергирования газовой фазы. – №3(28). – С.138–142.
8. **Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Князев В.А., Кочергин А.С.** Теоретические основы расчета работы эрлифтных устройств. – №3(28). – С.116–124.
9. **Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Ласьков Н.Н., Кочергин А.С.** Биологическая очистка хозяйственно-бытовых сточных вод на основе гидравлического секционирования. – №3(28). – С.131–137.
10. **Аржаева Н.В., Степанов С.А., Тараканов О.В.** Технологические решения по повышению надежности и экономичности систем централизованного теплоснабжения. – №4(29). – С.113–118.
11. **Артюшин Д.В., Шумихина В.А.** Экспериментально-аналитические исследования узлов сопряжения трубобетонных конструкций. – №4(29). – С.71–76.
12. **Береговой А.М., Береговой В.А., Монастырев П.В., Тараканов О.В.** Аспекты термомодернизации зданий старой застройки. – №4(29). – С.62–66.
13. **Береговой А.М., Дерина М.А.** Выбор критериев оптимальности в расчете тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции. – №3(28). – С.106–110.
14. **Береговой А.М., Дерина М.А.** Использование тепла подземных помещений в энергосбережении. – №1(26). – С.85–89.
15. **Береговой А.М., Дерина М.А.** Теплоаккумулирующая конструкция для компенсации теплопотерь помещения. – №1(26). – С.102–106.
16. **Береговой В.А., Снадин Е.В.** Прогнозирование деформаций ячеистого сырца в процессе сушки. – №4(29). – С.50–54.
17. **Береговой В.А., Снадин Е.В.** Формирование ячеистой структуры кремнистой керамики. – №2(27). – С.55–59.
18. **Бируля В.Б.** Оптимизация режимов работы системы газоснабжения конвейерных линий по производству керамической плитки. – №3(28). – С.111–115.
19. **Болдырев С.А., Гарькин И.Н., Медведева Л.М.** Формы работы центра практики студентов и содействия трудоустройству выпускников. – №3(28). – С.187–191.
20. **Борисов С.В.** Реконструкция иконостаса домового храма Тверского Императорского дворца. – №4(29). – С.119–124.
21. **Васин Л.А.** Использование модулярной системы счисления для организации распределенных вычислений на гибридной кластерной платформе. – №4(29). – С.137–140.
22. **Вдовин В.М.** Критерии прочности клеевых соединений элементов кровельных щитов полносборных деревянных домов. – №2(27). – С.93–98.
23. **Гаврилов М.А., Губанов Д.А., Худяков В.А., Ерофеев В.Т.** Изучение влияния вида наполнителей на основе асбестосодержащих отходов и их содержания на технологические и механические свойства эпоксидных композитов. – №2(27). – С.33–42.

24. **Гаврилов М.А., Ерофеев В.Т., Худяков В.А.** Химическое сопротивление эпоксидных композитов на основе асбестосодержащих отходов производства. – №3(28). – С.60–67.
25. **Гарькина И.А.** Композиты: частные критерии, формализация. – №1(26). – С.38–43.
26. **Горбунова В.С., Гринцова О.В.** Способы наименования бетонов различных типов. – №2(27). – С.60–64.
27. **Горшков В.И., Мирошниченко Д.С., Грейсух Г.И., Степанов С.А., Ежов Е.Г.** Стохастическая ветвящаяся модель прогнозирования отказов вентиляционных систем. – №3(28). – С.155–160.
28. **Гринцов Д.М., Гринцова О.В., Солманидина Н.В.** Работа с научным текстом на иностранном языке. – №1(26). – С.143–147.
29. **Гришин Б.М., Бикунова М.В., Камбург В.Г., Кошев А.Н.** Биологическая очистка хозяйственно-бытовых сточных вод с использованием вихревых смесительных устройств. – №3(28). – С.143–148.
30. **Гришин Б.М., Бикунова М.В., Ласьков Н.Н., Камбург В.Г., Малютина Т.В.** Гидравлические характеристики крупнозернистой загрузки контактных камер коагуляции. – №3(28). – С.125–130.
31. **Гришин Б.М., Гарькина И.А., Вилкова Н.Г., Бикунова М.В., Шейн А.И.** Технологии реагентной обработки природных вод с применением вихревых смесительных устройств. – №4(29). – С.100–107.
32. **Гришин Б.М., Камбург В.Г., Бикунова М.В., Сафронов М.А.** Исследование работы вихревых коалесцирующих устройств при очистке нефтепромысловых сточных вод. – №2(27). – С.125–132.
33. **Гришин Б.М., Кошев А.Н., Бикунова М.В., Сафронов М.А.** Реагентное обезжелезивание подземных вод с применением электрогидродинамического устройства. – №2(27). – С.118–124.
34. **Гришин Б.М., Перельгин Ю.П., Бикунова М.В., Ласьков Н.Н., Вилкова Н.Г.** Применение вихревых смесительных устройств в технологиях механической и физико-химической очистки сточных вод. – №2(27). – С.112–117.
35. **Гучкин И.С., Белюсева И.А., Ласьков Н.Н.** Из опыта усиления сплошной железобетонной плиты перекрытия промышленного здания. – №3(28). – С.77–82.
36. **Гучкин И.С., Самарцева Е.А., Ласьков Н.Н., Толушов С.А.** Колонна из трубобетона для многоэтажных зданий. – №1(26). – С.99–101.
37. **Данилов А.М.** Эргатические системы: неопределенности, линеаризация, структуризация, оценка параметров. – №1(26). – С.115–119.
38. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Методологическая парадигма естественных наук: системный подход. – №3(28). – С.161–165.
39. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Отраслевые аспекты системного анализа. – №4(29). – С.131–136.
40. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Практические методы аппроксимации кинетических процессов в полидисперсных системах. – №2(27). – С.70–74.
41. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Разработка строительных материалов как сложных систем. – №2(27). – С.50–54.
42. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Системное проектирование композитов. – №3(28). – С.45–49.
43. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Формализация кинетических процессов и обобщенный критерий качества композитов. – №4(29). – С.28–32.
44. **Данилов А.М., Гарькина И.А.** Цель системы: абстрактная модель и ее формализация. – №1(26). – С.20–23.
45. **Еремкин А.И., Кубис В.А., Кошев А.Н., Салмин В.В., Грейсух Г.И.** Математические модели и методы расчета адсорбции влаги из кондиционированного воздуха в пористом текстильном материале. – №4(29). – С.163–172.

-
46. **Жданова А.Г., Комина Г.П.** Особенности обеспечения теплового режима при отоплении крупногабаритных помещений газовыми инфракрасными горелками. – №3(28). – С.100–105.
47. **Жегера К.В.** Оценка конкурентоспособности строительного предприятия и его продукции на примере ОАО «ЖБК-1» (г. Пенза). – №4(29). – С.184–189.
48. **Кара К.А.** К вопросу о технико-экономической эффективности неавтоклавного ячеистого бетона. – №4(29). – С.20–27.
49. **Комаров В.А., Болдырева О.В., Болдырев С.А.** Работа поперечной арматуры в сжатых полосах бетона консольных опор ригелей. – №3(28). – С.95–99.
50. **Королева Т.И., Степанов С.А., Родионов Ю.В., Иващенко Н.Ю.** Эффективность использования солнечных коллекторов для отопления зданий в Пензенской области. – №4(29). – С.93–99.
51. **Кочеткова М.В.** Влияние технологических процессов на прочность каменной кладки. – №3(28). – С.90–94.
52. **Кочеткова М.В.** Определение оптимального времени созревания покрытия из пенополимерцементного раствора для последующих операций по отделке панелей. – №2(27). – С.99–103.
53. **Кочеткова М.В.** Технологическая последовательность отделки панелей из пенобетона пенополимерцементным раствором. – №2(27). – С.104–107.
54. **Кочеткова М.В., Симутина Н.Н., Чернышова Н.А.** Причины низкого качества строительной продукции. – №1(26). – С.107–109.
55. **Кочеткова М.В., Щеглова А.С.** Влияние состояния поверхности пенобетона на его сцепление с пенополимерцементным раствором. – №1(26). – С.74–77.
56. **Кошев А.Н., Сухов И.Ф., Васин Л.А.** Расчет параметров работы электролизера с проточными трехмерными электродами в режиме предельного диффузионного тока. – №4(29). – С.148–155.
57. **Кошев А.Н., Сухов И.Ф., Васин Л.А.** Расчет эффективных схем соединения реакторов для очистки гальванических стоков. – №4(29). – С.141–147.
58. **Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Зигангараева С.Р.** Силикатные стеновые материалы с использованием отсевов дробления изверженных горных пород. – №3(28). – С.38–44.
59. **Кутай Е.П.** Система высотных доминант центра исторического города (на примере г. Пензы). – №2(27). – С.146–153.
60. **Кучеренко М.Н., Кузнецов Е.П., Грейсх Г.И., Степанов С.А., Ежов Е.Г.** Проектирование систем вентиляции для сельскохозяйственных хранилищ с учётом динамики тепломассопереноса в слое сырья. – №3(28). – С.149–154.
61. **Лещев С.И., Лесовик Р.В., Агеева М.С., Карацупа С.В.** Анализ влияния добавки цеолитсодержащего трепела на микроструктурные характеристики матрицы композиционных вяжущих. – №3(28). – С.14–20.
62. **Логанина В.И., Карпова О.В., Рыжов А.Д.** Эффективность применения теплоизоляционной штукатурки на основе известково-перлитового состава с использованием алюмосиликатной добавки. – №1(26). – С.55–58.
63. **Логанина В.И., Полубояринов П.А., Рыжов А.Д.** Добавка на основе синтетических алюмосиликатов для известкового композиционного вяжущего. – №3(28). – С.28–32.
64. **Логанина В.И., Пышкина И.С., Васин Л.А.** Модификация известковых сухих строительных смесей добавками на основе гидросиликатов кальция. – №2(27). – С.65–69.
65. **Логанина В.И., Пышкина И.С., Чиркина М.А.** Трещиностойкость покрытий на основе известковых сухих строительных смесей с применением добавок гидросиликатов кальция. – №4(29). – С.11–14.
66. **Логанина В.И., Рыжов А.Д., Фролов М.В.** Влияние теплоизоляционной штукатурки на основе известково-перлитового состава на влажностный режим наружных стен зданий. – №1(26). – С.44–47.
67. **Логанина В.И., Фролов М.В.** Гидрофизические свойства покрытий для отделки стен из газобетона. – №3(28). – С.33–37.

68. **Логанина В.И., Фролов М.В.** Теплоизоляционные известковые составы для отделки стен из газобетона. – №2(27). – С.75–80.
69. **Макридин Н.И., Максимова И.Н., Полубарова Ю.В.** Анализ механического поведения конструкционного термолитобетона по полностью равновесным диаграммам деформирования. – №4(29). – С.15–19.
70. **Максимова И.Н., Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Полубарова Ю.В.** Влияние структуры цементного камня на процессы деформирования и разрушения при сжатии. – №4(29). – С.5–10.
71. **Максимова И.Н., Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Полубарова Ю.В.** Сравнительный анализ влияния суперпластификатора на процесс и параметры разрушения цементного камня по методу акустической эмиссии. – №2(27). – С.4–9.
72. **Максимова И.Н., Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Тамбовцева Е.А.** Влияние процедуры дозирования суперпластификатора на фазовый состав и параметры структурной механики разрушения цементного камня разного возраста. – №3(28). – С.21–27.
73. **Максимова И.Н., Макридин Н.И., Скачков Ю.П., Полубарова Ю.В.** Деформативные особенности цементного камня и цементно-песчаных композитов на диаграмме осевого сжатия. – №3(28). – С.5–13.
74. **Маслова Л.А., Белякова Е.А., Ишуева А.И.** 3D-кадастр: состояние и перспективы внедрения. – №4(29). – С.173–177.
75. **Маяцкая И.А., Демченко Б.М., Швецов П.А.** О возможности совершенствования сетчатых пластин и оболочек с учетом бионических принципов. – №2(27). – С.137–145.
76. **Мебадури З.А., Учаева Т.В.** Повышение эффективности деятельности строительных предприятий на основе применения современных методов организационно-технологических процессов строительства. – №4(29). – С.178–183.
77. **Миряев Б.В., Кузнецов А.А.** Определение критической нагрузки при местной потере устойчивости сетчатых деревянных куполов. – №1(26). – С.90–98.
78. **Миряев Б.В., Кузнецов А.А., Толушов С.А.** Метод расчета на местную устойчивость сетчатых деревянных куполов. – №3(28). – С.83–89.
79. **Мусатова Т.Е.** Использование регрессионного метода в экономическом прогнозировании сезонной деятельности дорожно-строительного предприятия. – №2(27). – С.167–173.
80. **Нежданов К.К., Гарькин И.Н.** Испытание неразрезных подкрановых балок на выносливость. – №2(27). – С.81–86.
81. **Низина Т.А., Морозов М.А., Низин Д.Р., Чернов А.Н.** Экзотермичность наполненных эпоксидных композитов. – №3(28). – С.68–76.
82. **Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р., Чернов А.Н.** Влияние цвета полимерных композиционных материалов на режим эксплуатации защитно-декоративных покрытий в условиях воздействия природных климатических факторов. – №1(26). – С.59–67.
83. **Овчинников И.И., Чэнь Т., Овчинников И.Г.** Вероятностное моделирование железобетонной сваи при совместном действии нагрузки и хлоридсодержащей среды. – №4(29). – С.55–61.
84. **Осипова Н.Н., Гришин Б.М., Грейсух Г.И., Салмин В.В.** Обоснование параметров газораспределительных систем при неравномерной структуре потребления. – №4(29). – С.108–112.
85. **Перельгин Ю.П., Покшин В.В.** Реагент для обеззараживания воды. – №2(27). – С.108–111.
86. **Петрянина Л.Н., Булдыгина А.А., Карпова О.В.** Учет экологических факторов при проектировании промышленных предприятий. – №1(26). – С.138–142.
87. **Петрянина Л.Н., Дерина М.А., Монастырев П.В.** Реконструкция городской среды: новая и сложившаяся застройка. – №4(29). – С.83–86.
88. **Прошутинский А.О.** Влияние величины давления газа на энергоэкологические показатели работы газового оборудования жилых зданий. – №2(27). – С.133–136.

-
89. **Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З.** Исследование влияния дисперсности добавок известняка на свойства композиционного шлакощелочного вяжущего. – №2(27). – С.43–49.
90. **Резник Г.А.** Управление трудовым потенциалом современной строительной организации. – №1(26). – С.124–131.
91. **Резник С.Д.** Взаимоотношения менеджера с непосредственным начальником: технологии обеспечения поддержки собственных идей и проектов. – №3(28). – С.166–174.
92. **Резник С.Д., Холькина О.В.** Эффективность управления человеческими ресурсами в строительных организациях: эконометрическая оценка факторов влияния. – №3(28). – С.175–181.
93. **Садовникова М.А., Жегера К.В.** Применение синтетических цеолитов в качестве модифицирующей добавки в рецептуре цементных и известковых сухих строительных смесей. – №1(26). – С.68–73.
94. **Селяев В.П., Колотушкин А.В.** Влияние магнитной активации на упругопрочностные показатели цементных композитов. – №2(27). – С.17–20.
95. **Селяев В.П., Осипов А.К., Селяев П.В.** Образование продольных трещин в железобетонных конструкциях при эксплуатации в условиях хлоридной коррозии арматуры. – №1(26). – С.78–84.
96. **Селяев В.П., Селяев П.В., Алимов М.Ф., Кечуткина Е.Л.** Физические характеристики диаграмм деформирования цементных композитов при сжатии. – №1(26). – С.29–37.
97. **Селяев П.В., Киселев Н.Н., Ляскин О.В.** Принципы создания порошковой теплоизоляции на основе микрокремнезема. – №3(28). – С.55–59.
98. **Силаков В.Р., Баклин А.А.** Система удаленного мониторинга работы системы солнечного теплоснабжения локального объекта. – №4(29). – С.87–92.
99. **Скачков Ю.П., Мищенко В.Н., Снежкина О.В.** Определение эффективных схем армирования ростверков свайных фундаментов. – №4(29). – С.77–82.
100. **Скачков Ю.П., Мищенко В.Н., Снежкина О.В.** Схемы разрушения и трещинообразования ростверков свайных фундаментов под колонны. – №2(27). – С.87–92.
101. **Снежкина О.В., Скачков Ю.П., Киселев А.А.** Оценка прочности железобетонных балок со средним пролетом среза. – №1(26). – С.110–114.
102. **Титова Е.И.** Организация модульного обучения на примере изучения математики в строительном вузе. – №1(26). – С.148–152.
103. **Усатенко А.Н.** Повышение эффективности деятельности предприятия с помощью SWOT-анализа (на примере ООО «АРМСТРОЙ», г.Москва). – №2(27). – С.174–178.
104. **Усатенко А.Н., Учаева Т.В.** Резервы повышения прибыли и рентабельности деятельности строительного предприятия. – №3(28). – С.182–186.
105. **Учаева Т.В., Иванова Д.С.** Роль финансового анализа в повышении эффективности деятельности строительного предприятия. – №2(27). – С.161–166.
106. **Учаева Т.В., Кулагина Ю.В.** Анализ финансовой устойчивости ОАО «ЦЕНТР-ИНВЕСТ». – №1(26). – С.132–137.
107. **Фокин Г.А., Вилкова Н.Г., Шапошников Н.А.** Волновая технология разработки строительных материалов на минеральном вяжущем. – №1(26). – С.48–54.
108. **Хаметов Т.И.** Особенности формирования и учета сведений об объектах капитального строительства. – №2(27). – С.154–160.
109. **Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Пронин Д.Н.** Модификация цементного камня комплексной добавкой на основе супер-, гиперпластификатора и углеродного порошка. – №4(29). – С.40–49.
110. **Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В., Пугачев А.А., Мокейкина Е.В.** Влияние наполнителей на диссипативные свойства полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы. – №2(27). – С.10–16.

111. **Шалапко Ю.И., Януш М., Камбург В.Г., Глебова Т.А.** Моделирование процесса позиционирования контактной пары при ее динамическом нагружении. – №4(29). – С.156–162.

112. **Шошин Е.А., Иващенко Ю.Г.** Исследование состава цементных гидросиликатов, модифицированных изомерными дисахаридами. – №3(28). – С.50–54.

113. **Шошин Е.А., Иващенко Ю.Г.** Формирование нанофазы в смеси опока – известь в присутствии сахарозы. – №1(26). – С.24–28.