

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 2 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: С.В. Сватковская,
М.А. Сухова
В.С. Кулакова,

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 12.05.2012.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 25,25. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 112.

Отпечатано в полиграфическом центре ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО
2(13)/2012**

Содержание

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ** 5

**Селяев В.П., Осипов А.К., Неверов В.А.,
Маштаев О.Г., Сидоров В.В.**
ПОЛИСТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОИЗОЛЯ-
ЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ
ДИСПЕРСНОГО МИКРОКРЕМНЕЗЁМА 5

**Черкасов В.Д., Савченкова Г.А.,
Артамонова Т.А., Юркин Ю.В.**
КОМПОЗИЦИИ ИЗ НЕПОЛЯРНЫХ КАУЧУКОВ
ДЛЯ НЕОТВЕРЖДАЕМЫХ ГЕРМЕТИКОВ 12

Альбакасов А.И., Королев Е.В.
СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 18

Иващенко А.М., Калашников В.И., Каргин А.А.
ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК
УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ КОЛОНН ИЗ СТАЛИ И
ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В СТОЙКАХ
КАРКАСОВ ЗДАНИЙ 28

Гарькина И.А., Данилов А.М.
ФОРМАЛИЗОВАННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: СОСТОЯНИЕ И
ПЕРСПЕКТИВЫ 34

**Дамдинова Д.Р., Хардаев П.К., Павлов В.Е.,
Алексеева Э.А., Анчилов Н.Н.**
О ПРОБЛЕМЕ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ
ПЕНОСТЕКЛОЛ ИЗ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ
ПОРОД 38

Максимова И.Н., Макридин Н.И.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
КОНСТРУКЦИОННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ 45

Кузнецов Ю.С., Кувшинова О.А.
АДСОРБЦИОННОЕ ПОНИЖЕНИЕ
ПРОЧНОСТИ МИНЕРАЛОВ В ПРОЦЕССЕ
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ 49

Вернигорова В.Н., Саденко С.М., Ульянов Д.В.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ПРОТЕКАНИЯ
ПРОЦЕССА ДИССОЦИАЦИИ МОЛЕКУЛ ВОДЫ
НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНЕЗЁМА 53

© Авторы публикаций, 2012
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2012
© ПГУАС, 2012

Логанина В.И., Симонов Е.Е. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИАТОМИТА.. 56	Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Камбург В.Г., Ласьков Н.Н., Давыдов Г.П. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ..... 114
Губанов Д.А. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ 60	Гришин Б.М., Андреев С.Ю., Кошев А.Н., Вилкова Н.Г., Бикунова М.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД..... 121
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ64	Вилкова Н.Г., Дорчина О.В. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНЫХ КОМБИНАТОВ МЕТОДОМ ПЕННОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ..... 128
Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Скачков Ю.П. МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА И ПОЛИМЕРБЕТОНА ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ..... 64	Прохоров С.Г., Родионов Ю.В., Тараканов О.В., Кожунов А.А. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ «СУХОГО» ТИПА..... 133
Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Скачков Ю.П. КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ ХЛОРИДНОЙ КОРРОЗИИ И КАРБОНИЗАЦИИ 72	Иванкин М.А., Аверкин А.Г., Грейсух Г.И., Степанов С.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУХА ИЗ ПОМЕЩЕНИЯ..... 138
Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ..... 79	Королева Т.И., Ежов Е.Г., Салмин В.В., Васин М.Е. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВА- НИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В ПЕНЗЕНСКОМ РЕГИОНЕ 143
Гучкин И.С., Черячукин В.В., Панков А.В. ПРОЧНОСТЬ И ЖЁСТКОСТЬ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ 84	Горшков В.И., Родионов Ю.В., Тараканов О.В., Святкина А.А. РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ.... 149
Монахов В.А. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ГРАФА СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ 90	Королева Т.И., Кузьмишкин А.А., Васин М.Е., Ежов Е.Г., Левцев А.П. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ 154
Вдовин В.М., Мухаев А.И. ВКЛЕЕННЫЕ ЦЕНТРОВЫЕ ШПОНКИ В СОЕДИНЕНИЯХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ..... 95	Чертес К.Л., Зеленцов Д.В., Сафонова Н.А., Пыстин В.Н., Бикунова М.В., Малиновский А.С. ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЯНОГО КОМПЛЕКСА 159
Вдовин В.М., Мухаев А.И. РАБОТА СОЕДИНЕНИЯ НА ЦЕНТРОВЫХ ВКЛЕЕННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ШПОНКАХ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИМИ НАГРУЗКИ ПОД УГЛОМ К ВОЛОКНАМ ДРЕВЕСИНЫ... 102	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ 167
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ107	Кошев А.Н., Кузина В.В., Глебова Т.А. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ. 167
Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Кошев А.Н., Камбург В.Г., Гарькина И.А. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ 107	

Хрусталеv Б.Б., Демьянова В.С., Ганиев М.Г. ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА.....	177	Кошевой О.С., Глебова Т.А., Чиркина М.А. ДИАГНОСТИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕДУШЕВЫХ ДЕНЕЖНЫХ ДОХОДОВ НАСЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА.....	192
Камбург В.Г., Питак И.В., Моисеев В.Ф., Питак О.Я. УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО- СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ В ЖИЛИЩНОЙ СФЕРЕ	181	Максимчук О.В., Горбунов В.Н., Мещерякова О.К. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРНОЙ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ	196
Максимчук О.В., Ткаченко И.В., Попова И.В. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ РЕГИОНАЛЬ- НОЙ ПОЛИТИКИ МАЛОЭТАЖНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	188	Указатель статей, опубликованных в 2012 г.	200

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	Kuznetsov Yu.S., Kuvshinova O.A. ADSORPTION LOWERING OF MINERALS DURABILITY IN THE PROCESS OF GRINDING	49
Selyaev V.P., Osipov A.K., Neverov V.A., Mashtaev O.G., Sidorov V.V. POLYSTRUCTURAL MODEL OF HEAT INSULATION MATERIAL ON THE BASIS OF DISPERSIVE SILICA FUME	5	Vernigorova V.N., Sadenko S.M., Uljanow D.V. THERMODYNAMIC CONDITIONS OF SPONTANEOUS WATER MOLEKULARS DISSOCIATION ON SILICA SURFACE.....	53
Cherkasov V.D., Savchenkova G.A., Artamonova T.A., Yurkin Y.V. COMPOSITIONS FROM NOT POLAR RUBBERS FOR INCONGEALABLE SEALANTS	12	Loganina V.I., Simonov E.E. REGULARITIES OF STRUCTURE AND PROPERTIES FORMATION OF LIME COMPOSITES WITH THE USE OF MODIFIED DIATOMITE.....	56
Albakasov A.I., Korolev E.V. SYSTEM DESIGN OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON SULFUR.....	18	Gubanov D.A. CONSTRUCTION COMPOSITES ON THE BASIS ON METAL WATER PIPES PRODUCTION WASTES.....	60
Ivashchenko A.M., Kalashnikov V.I., Kargin A.A. SOME FEATURES OF CALCULATION STABILITY CHARACTERISTICS FOR COLUMNS FROM STEEL AND HIGH-STRENGTH CONCRETE IN RACKS OF BUILDING FRAMES	28	BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	64
Garkina I.A., Danilov F.M. FORMALIZED QUALITY ASSESSMENT OF COMPLEX SYSTEMS: CURRENT STATE AND PROSPECTS	34	Ovchinnikov I.I., Migunov V.N., Skachkov Yu.P. THE MODEL OF CONCRETE DEFORMATION AND POLYMER CONCRETE DURING CREEP IN CORROSIVE ENVIRONMENT	64
Damdinova D.R., Khardaev P.K., Pavlov V.E., Alekseeva E.A., Anchiloev N.N. TO THE PROBLEM OF IMPROVEMENT THE STRUCTURE OF FOAMGLASS FROM ZEOLITE-CONTAINING ROCKS.....	388	Ovchinnikov I.I., Migunov V.N., Skachkov Yu.P. CORROSION – MECHANICAL DESTRUCTION OF CONCRETE STRUCTURES UNDER THE SIMULTANEOUS ACTION OF CHLORIDE CORROSION AND CARBONIZATION.....	72
Maksimova I.N., Makridin N.I. TECHNOLOGICAL FEATURES OF LIGHT CONCRETES STRUCTURE AND PROPERTIES FORMATION	45	Kuzin N.J., Bagdoev S.G. ESTIMATION OF EXTERNAL FACTORS INFLUENCE ON THE BEARING ABILITY OF CIVIL BUILDINGS DESIGNS	79

Guchkin I.S., Cherychukin V.V., Pankov A.V. THE STRENGTH AND STIFFNESS OF BEAMS AMPLIFIED BY COMBINED SYSTEM..... 84	Koroleva T.I., Ezhov E.G., Salmin V.V., Vasin M.E. SOME ASPECTS OF SOLAR RADIATION USE IN THE PENZA REGION..... 143
Monakhov V.A. GEOMETRICAL MATRIX FORMATION ON THE BASIS OF FRAME STRUCTURE GRAPH..... 90	Gorshkov V.I., Rodionov Y.V., Tarakanov O.V., Svyatkina A.A. REGULATION OF AIR FLOW IN VENTILATION SYSTEMS BY GASDYNAMIC METHOD 149
Vdovin V.M., Muhaev A.I. PIVOTAL PINS GLUED IN TIMBER STRUCTURES JOINTS..... 95	Koroleva T.I., Kuzmishkin A.A., Vasin M.E., Ezhov E.G., Levitsev A.P. HOW TO SAVE ENERGY IN THE HEATING SYSTEMS OF PUBLIC HOUSES 1554
Vdovin V.M., Muhaev A.I. CONNECTION WORK ON THE PIVOT RING GLUED DOWELS WHEN THEIR LOAD IS SPREAD OVER THE WOOD FIBERS AT THE ANGLE..... 102	Chertes K.L., Zelentsov D.V., Safonova N.A., Pystin V.N., Bikunova M.V., Malinovskiy A.S. TREATMENT OF WASTE WATER SEDIMENTS FROM OIL INDUSTRY COMPLEX 159
ENGINEERING SYSTEMS 107	ECONOMICS AND MANAGEMENT.. 167
Andreev S.Yu., Grishin B.M., Koshev A.N., Kamburg V.G., Garkina I.A. HYDRAULIC CONFORMITIES OF TURBULENT FLOW VELOCITY DISTRIBUTION IN DIAMETRICAL SECTION OF WATER SUPPLY PIPES ... 1087	Koshev A.N., Kuzina V.V., Glebova T.A. MATHEMATICAL MODELING AS AN ELEMENT OF MANAGEMENT IN THE OBJECTIVES OF CONSTRUCTION INDUSTRY SECTOR..... 167
Andreev S.Yu., Grishin B.M., Kamburg V.G., Laskov N.N., Davydov G.P. MATHEMATICAL MODELLING OF WASTE WATER PURIFICATION PROCESSES IN AEROTANKS 114	Hrustalev B.B., Demyanova V.S., Ganiev M.G. FORMATION AN ENTERPRISE DEVELOPMENT STRATEGY FOR BUILDING COMPLEX BASED ON SYSTEM APPROACH..... 177
Grishin B.M., Andreev S.Yu., Koshev A.N., Vilkova N.G., Bikunova M.V. APPLICATION OF ELECTROHYDRODY- NAMIC DEVICES FOR UNDERGROUND WATER REAGENT TREATMENT..... 121	Kamburg V.G., Pitak I.V., Moiseev V.F., Pitak O.Ya. MANAGEMENT OF INVESTMENT CONSTRUCTION DESIGN IN HOUSING . 181
Vilkova N.G., Dorchina O.V. MILK FACTORIES WASTE WATER PURIFICATION WITH THE HELP OF FOAM ADSORPTION..... 128	Maksymchuk O.V., Tkachenko I.V., Popova I.V. WORKING OUT THE CONCEPT OF THE REGIONAL POLICY OF LOW HOUSING CONSTRUCTION 188
Prohorov S.G., Rodionov J.V., Tarakanov O.V., Kozhunov A.A. ASSESSMENT OF ATMOSPHERE POLLUTION BY EMISSIONS FROM GASIFYING FURNACES OF SMALL CAPACITY USING HEAT EXCHANGES OF «DRY» TYPE..... 133	Koshevoy O.S., Glebova T.A., Chirkina M.A. DIAGNOSTICS OF INDICATORS SHOWING CONCENTRATION OF PER CAPITA MONETARY INCOMES DISTRIBUTION OF THE POPULATION ON A BASIS THE ENTROPIC APPROACH 192
Ivankin M.A., Averkin A.G., Greisyh G.I., Stepanov S.A. COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFICIEN WORK OF DEVICES USED FOR POLLUTED AIR REMOVAL FROM THE ROOM..... 138	Maksymchuk O.V., Gorbunov V.N., Mescheryakova O.K. SOME FEATURES OF CLUSTER SYSTEMS FORMATION IN CONSTRUCTION SECTOR..... 196

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 666.762

*Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева*

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

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

Осипов Анатолий Константинович,
кандидат химических наук, доцент,
зав. кафедрой «Аналитическая химия»

Неверов Вячеслав Александрович,
кандидат физико-математических наук,
доцент
E-mail: ua4uu@mail.ru

Маштаев Олег Геннадьевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: lord8718@rambler.ru

Сидоров Виталий Валерьевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

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

Russia, 430005, Saransk, 24, Soviet St.,
tel./fax: (8342) 47-71-56

Seljaev Vladimir Pavlovich,
Academician of the Russian Academy of
Architectural and Building Science, Doctor of
Science, Professor, Head of the department
«Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

Osipov Anatoly Konstantinovich,
Candidate of Chemistry, Associate professor,
Head of the department «Analytical
Chemistry»

Neverov Viacheslav Aleksandrovich,
Candidate of Physics and Mathematics
Science, Associate professor
E-mail: ua4uu@mail.ru

Mashtaev Oleg Gennadievich,
Postgraduate of the department «Building
designs»
E-mail: lord8718@rambler.ru

Sidorov Vitaly Valerievich,
Postgraduate of the department «Building
designs»

ПОЛИСТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНОГО МИКРОКРЕМНЕЗЁМА

В.П. Селяев, А.К. Осипов, В.А. Неверов, О.Г. Маштаев, В.В. Сидоров

Разработана полиструктурная модель теплоизоляционного материала на основе дисперсного микрокремнезёма, учитывающая влияние пористости частиц и каркаса на теплопроводность зернистых систем. Показана возможность создания теплоизоляционных материалов нового поколения.

Ключевые слова: дисперсный микрокремнезём, кластер, полиструктурная модель тонкодисперсной системы, теплопроводность, структура с взаимопроникающими компонентами, принцип формирования «структуры в структуре».

POLYSTRUCTURAL MODEL OF HEAT INSULATION MATERIAL ON THE BASIS OF DISPERSIVE SILICA FUME

V.P. Selyaev, A.K. Osipov, V.A. Neverov, O.G. Mashtaev, V.V. Sidorov

Polystructural model of heat insulation material on the basis of dispersive silica fume is developed. It takes into account the particles and framework voids content influence on the gritty systems heat transmission. The possibility to create new generation of heat insulation materials is shown.

Keywords: dispersive silica fume, cluster, polystructural model of finely dispersed system, heat transmission, interpenetrative components structure, 'structure-in-structure' formation principle.

Теплоизоляционные материалы на основе тонкодисперсных минеральных порошков весьма перспективны и будут находить широкое применение в строительстве, авиастроении, кораблестроении, криогенной технике, так как их отличает экологичность, огнестойкость, биостойкость. На основе минеральных порошков можно создавать теплоизоляционные ограждающие конструкции, защитные свойства которых на порядок превосходят свойства изделий на основе пенополистирола, пенополиуретана и других теплоизоляционных материалов.

Исследования теплопроводности зернистых материалов проводились в начале прошлого века и продолжают до настоящего времени [1, 2, 3]. Было установлено, что на основе тонкодисперсных минеральных систем можно создавать высокоэффек-

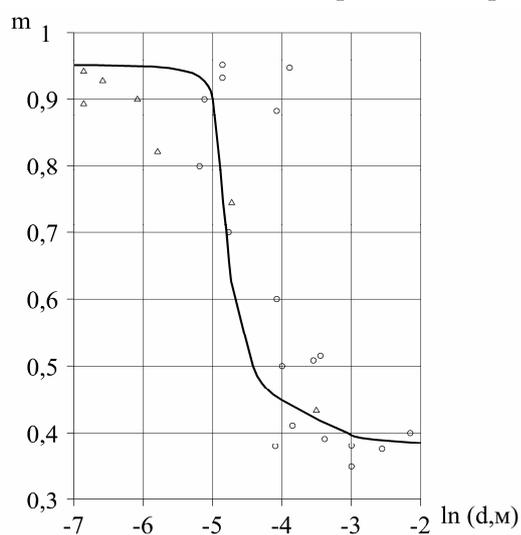


Рис. 1. Зависимость пористости дисперсных систем от размеров частиц

тивные теплоизоляционные материалы. Это связано прежде всего с уникальной пористостью минеральных порошков, которая при свободной засыпке может изменяться в пределах от 0,26 до 0,95. Если характерный размер частицы $d > 0,2$ мм, то, как правило, образуется достаточно плотная однородная упаковка частиц, которая моделируется тетраэдрической, гексагональной или кубической кладкой шаров с объемной долей пор, соответственно 0,26; 0,4; 0,47. Однако, если размер частиц значительно меньше 0,2 мм, то резко возрастает доля пор, снижается насыпная плотность. Графическая зависимость пористости дисперсных порошков от размеров частиц получена экспериментально и представлена на рис. 1.

В представленной ниже таблице приведены характеристики тонкодисперсных порошков, полученных различными производителями, а также авторами [6].

Характеристики тонкодисперсных порошков

Вид порошка	Характеристики порошков				
	γ_n , кг/м ³	γ_n , кг/м ³	P , %	S , м ² /г	d , нм
Эталон (микрокремнезём новокузнецкий порошковый)	2200	150-200	93	12	< 200
Микрокремнезём гранулированный	2200	80-500	83	12	< 200
Микрокремнезём липецкий	2200	170-200	92	20	< 140
Микрокремнезём челябинский	2200	400-700	88	20	< 140
Диатомитовый порошок	2200	600	75		< 500
Микрокремнезём братский	2200	195	91	25	< 140
Микрокремнезём раменский	2200	150-250	91	15-25	< 100
Микрокремнезём на основе атемарского диатомита	2200	200	90	20	< 100
Пирогенный кремнезём	2200	100	95		< 40
Песок	2600	1500	43	0,003	< 1·10 ⁵
Цемент	3100	1600	48	0,31	< 1·10 ³

Исследования свойств наноразмерных частиц и порошков [5], полученных авторами из диатомита [6], показали (рис. 2), что одиночные частицы могут иметь плотную и пористую структуру, в свободном состоянии они агрегируются и образуют кластеры. Исходя из этих представлений предложена полиструктурная модель тонкодисперсной системы при свободной засыпке.

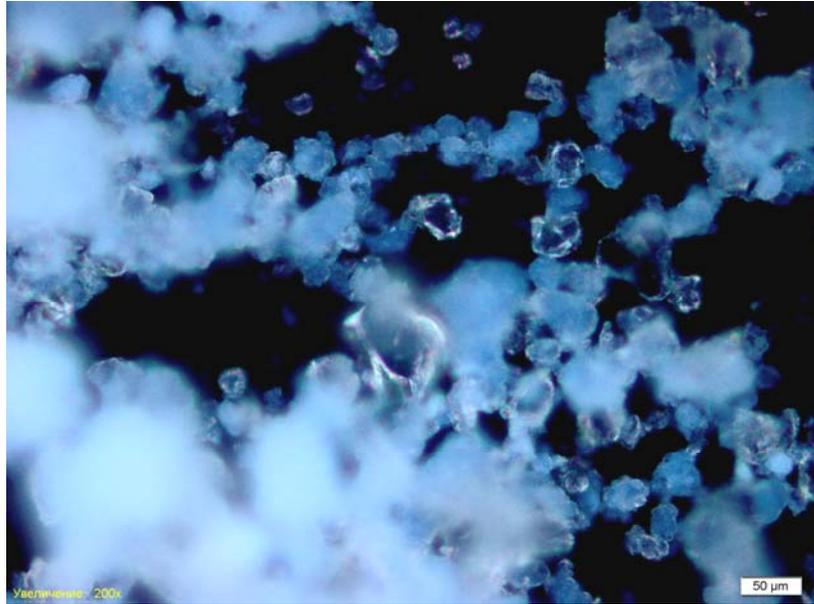


Рис. 2. Структура одиночных частиц

Впервые полиструктурная модель строения зернистой системы из плотных частиц с каркасом и пространственной сетью пустот на двух уровнях, образующих между собой структуру с взаимопроникающими компонентами, была предложена Г.Н. Дульневым в 1969 году [3]. Отличительной чертой структуры с взаимопроникающими компонентами является непрерывная протяженность вещества любой компоненты во всех направлениях. Такие структуры обладают инвариантностью (при замене местами компонент m_1 и m_2 свойства λ не меняются), т.е. $\lambda = f_1(\lambda_1, \lambda_2) = f_2(\lambda_2, \lambda_1)$, $m_1 = m_2$.

Подобное свойство присуще всем строительным материалам со сквозной пористостью, в том числе и дисперсным материалам.

Известны различные модели дисперсных систем. Анализ показал, что наиболее совершенными являются полиструктурные модели, построенные с учетом принципов инвариантности, изотропности, устойчивости и сохранения формы сплошных частиц в широком диапазоне изменения пористости на двух структурных уровнях [1].

Недостатком моделей, предложенных в работах [1,3], является допущение об абсолютной плотности частиц и каркаса, который они образуют.

Рассмотрим модель зернистой системы из частиц размером d_1 значительно меньше 0,2 мм, имеющих внутреннее поровое пространство m_1 (первый уровень). При свободной засыпке дисперсных материалов, диаметр частиц которых меньше 0,2 мм, развивается процесс самоорганизации системы. Согласно представлениям полиструктурной теории композиционных материалов, сформулированным в работах В.И. Соломатова [4], в процессе самоорганизации сложной системы реализуется принцип формирования «структуры в структуре». Структура первого уровня представлена структурой частиц, пористость которых в зависимости от технологии имеет осредненные значения m_1 . В результате взаимодействия между частицами происходит образование структуры второго уровня в виде агрегированных частиц (кластеров), пористость которых m_2 зависит от типа упаковки частиц в кластере. Структуру третьего уровня формируют кластеры и частицы, которые, плотно контактируя друг с другом, образуют каркас с крупными пустотами. Сеть пустот, пронизывающих каркас, образует структуру четвертого уровня с пористостью m_3 .

Полиструктурная модель зернистого материала при свободной засыпке, полученная на основе положений полиструктурной теории В.И. Соломатова и модели Г.Н. Дульнева, представлена на рис. 3. Она подтверждает возможность получения систем с пористостью $m = 95\%$ и возможность прогнозирования их теплопроводности.

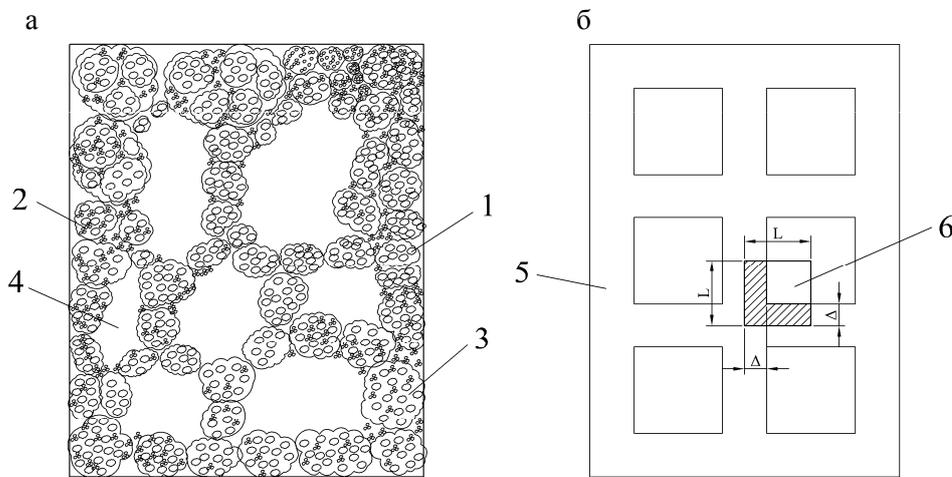


Рис. 3. Полиструктурная модель зернистого материала при свободной засыпке:

а – хаотическая; б – упорядоченная;

1 – пористая частица; 2 – кластер из частиц; 3 – поры между частицами кластера; 4 – пустоты между кластерами; 5 – каркас из частиц; 6 – элементарная ячейка каркаса; L – масштабный размер элементарной ячейки; Δ – масштабный размер элемента каркаса из частиц

Следуя принципу формирования «структуры в структуре», любую многокомпонентную систему можно последовательно привести к двухкомпонентной. Каждую двухкомпонентную систему одного уровня можно считать подобной системе другого уровня, если выполняется принцип подобия Кирпичева–Гухмана [7].

Для прогнозирования теплопроводности зернистых систем рассмотрим полиструктурную модель (см. рис. 3), которая представлена системой частиц, хаотически расположенных в объеме. Перенос тепла осуществляется через соприкасающиеся частицы и вещество (воздух, вода), заполняющее пространство между ними. При анализе систем частиц можно заметить участки (см. рис. 3) с упорядоченным их расположением. Это вполне закономерно, т.к. порядок в системе является частным проявлением всего многообразия состояний хаоса. Поэтому любую хаотическую систему можно заменить упорядоченной. Свойства систем с хаотической и упорядоченной структурой равны друг другу, если эти структуры подобны. Согласно теореме Кирпичева–Гухмана системы подобны, если имеют соответственно одинаковые определяющие критерии подобия и подобные условия однозначности. В качестве критериев подобия для зернистых систем можно принять: объемные концентрации вещества частиц $\frac{m_1}{m} = idem$ и объема пор $\frac{m_2}{m} = idem$; соотношение коэффициентов

теплопроводности вещества частиц λ_1 и воздуха λ_2 , т.е. $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = idem$; критерий Кнуд-

сена $k_n = \frac{l_0}{l} = idem$ и критерий Кирпичева $\frac{kl}{\lambda} = k_i = idem$, где l – характерный размер пор; l_0 – длина свободного пробега молекул; k – коэффициент теплопередачи.

Рассмотрим модель, у которой зерно системы пористое, т.е. оно состоит из минерала – вещества частицы с относительным содержанием m_{12} и пор объемом m_{11} . Вообразим зерно состоящим из взаимопроникающих компонентов вещества частицы и пор, которые можно представить в виде модели (рис. 4).

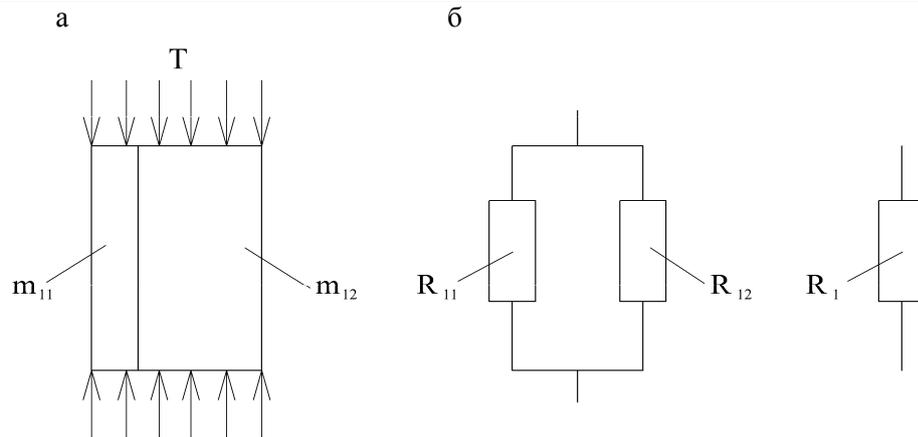


Рис. 4. Модель зерна системы:

а – элементарная ячейка с относительным содержанием сквозных пор m_{11} и вещества m_{12} ;
 б – схема соединения тепловых сопротивлений

Сопротивление теплопередаче зерна системы можно моделировать параллельным соединением двух элементов, у которых сопротивления теплопередаче равны R_{11} и R_{12} , где R_{11} – сопротивление теплопередаче вещества пор, а R_{12} – зерна. Тогда сопротивление теплопередаче зерна находим из уравнения

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{12}}.$$

Полагая, что $R_{ij} = \frac{L}{\lambda_{ij} \cdot S_{ij}}$, получаем выражение для определения коэффициента теплопроводности зерна:

$$\lambda_1 = \lambda_{11} m_{11} + \lambda_{12} m_{12}. \quad (1)$$

На втором уровне рассмотрим теплопроводность кластеров, пористость которых равна m_2 . По аналогии с предыдущей моделью получаем, что теплопроводность кластера λ_2 составит:

$$\lambda_2 = \lambda_{21} m_{21} + \lambda_{22} m_{22}, \quad (2)$$

где λ_{21} , λ_{22} – коэффициенты теплопроводности вещества пор и дисперсных частиц; m_{21} и m_{22} – соответственно их объемное содержание.

С учетом уравнения (1) теплопроводность кластеров можно определять по формуле

$$\lambda_2 = \lambda_{11} (m_{21} + m_{11} m_{22}) + \lambda_{12} m_{12} m_{22}. \quad (3)$$

Для определения теплопроводности дисперсной системы с взаимопроникающими компонентами рассмотрим пространственную модель элементарной ячейки (масштаб 4) системы, состоящей из пористого каркаса (масштаб Δ) и вещества межкластерных пустот. С учетом пористости частиц вещества и кластеров схема соединения сопротивлений теплопередаче в элементарной ячейке можно представить в следующем виде (рис. 5).

Тогда общее сопротивление теплопередаче элементарной ячейки можно представить в виде формулы:

$$\frac{1}{R} = \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{11} R_{12}} + \frac{2}{R_3 + \frac{R_{21} R_{22}}{R_{22} + R_{21}}} + \frac{1}{R_4}. \quad (4)$$

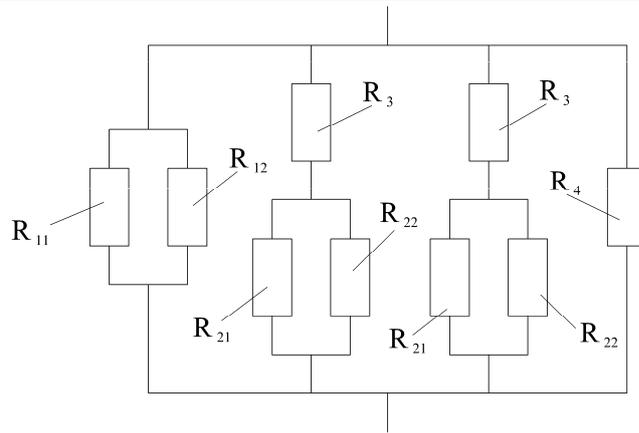


Рис. 5. Схема соединения сопротивлений теплопередаче в элементарной ячейке полиструктурной модели с учетом пористости каркаса

В формуле (4) сопротивление теплопередаче выразим функциями:

$$R = \frac{1}{\lambda L}, \quad \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{11}R_{22}} = R_1 = \frac{L}{\lambda_2 \Delta^2}, \quad R_3 = \frac{L - \Delta}{\lambda_{11} \Delta (L - \Delta)}, \quad \frac{R_{21}R_{22}}{R_{22} + R_{21}} = R_2 = \frac{\Delta}{\lambda_2 \Delta (L - \Delta)},$$

$$R_4 = \frac{L}{\lambda_{11} (L - \Delta)^2}.$$

Подставив эти выражения в формулу (4) и решая относительно λ , получаем

$$\lambda = \frac{\lambda_2 \Delta^2}{L^2} + \lambda_{11} \frac{(L - \Delta)^2}{L^2} + \frac{2\lambda_2 \lambda_{11} (L - \Delta) \Delta}{[\Delta \lambda_{11} + (L - \Delta) \lambda_2] L}. \quad (5)$$

Если в формуле (5) ввести обозначения $\frac{\lambda_{11}}{\lambda_2} = v$, $\frac{\Delta}{L} = C$, то получаем

$$\lambda = \lambda_2 \left[C^2 - v(1 - C)^2 + \frac{2vC(1 - C)}{vC + 1 - C} \right]. \quad (6)$$

Формула (6) при условии $m_{11}=0$; $m_{21}=0$ преобразуется в формулу Г.Н. Дульнева. Формула (6) с учетом формулы (3) позволяет анализировать влияние пористости частиц m_{11} и каркаса m_{21} на теплопроводность системы.

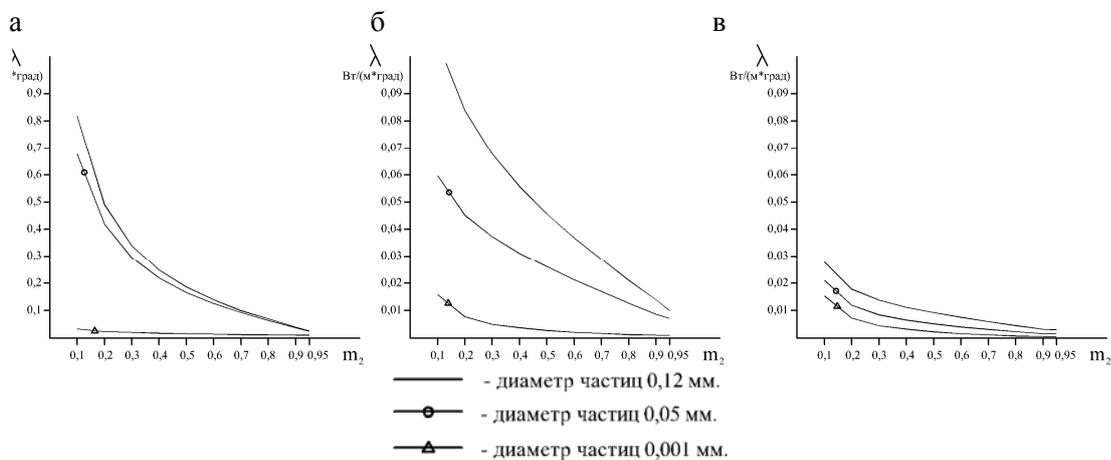


Рис. 6. Расчетные зависимости теплопроводности зернистых систем при свободной засыпке от пористости: а – при атмосферном давлении; б – при давлении 1000 Па; в – при давлении 100 Па

На рис. 6 показаны расчетные (по формуле (6)) зависимости теплопроводности зернистых систем при свободной засыпке от пористости частиц и кластеров с учетом размеров частиц и давления воздуха в поровом пространстве. Из анализа полученных графиков следует, что, уменьшая размеры частиц, внутрипоровое давление и увеличивая пористость зернистой системы, можно создать теплоизоляционный материал с защитными свойствами, превосходящими известные аналоги.

Список литературы

1. Дульнев, Г.Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: справочная книга / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
2. Кауфман Б.Н. Теплопроводность строительных материалов / Б.Н. Кауфман. – М.: Госстройиздат, 1955. – 160 с.
3. Дульнев, Г.Н. Теплопроводность зернистых и слабо вспененных систем / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк, Б.Л. Мурашова // ИФЖ. – Т. 16. – 1969. – №6. – С. 1019-1028.
4. Соломатов, В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.П. Селяев. – Ташкент: ФАН, 1991. – 345 с.
5. Селяев, В.П. Наноматериалы и нанотехнологии в строительстве / В.П. Селяев // Наука: 21 век. – 2011. – №1 (13). – С. 58–66.
6. Возможность создания теплоизоляционных материалов на основе наноструктурированного микрокремнезёма из диатомита / В.П. Селяев [и др.] // Наука: 21 век. – 2011. – №3 (15). – С. 76–86.
7. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования: учеб. пособие для вузов / В.А. Веников. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.

Resources

1. Dulnev, G.N. Alloys and composite materials heat transmission: reference book / G.N. Dulnev, U.P. Zarichnyak. – L.: Energia, 1974. – 264 p.
2. Kaufman, B.N. Building materials heat transmission / B.N. Kaufman. – M, Gosstroyizdat, 1955. – 160 p.
3. Dulnev, G.N. Gritty and low-foam-level systems heat transmission / G.N. Dulnev, U.P. Zarichnyak, B.L. Murashova // IFG. – Vol. 16. – 1969. – №6. – P. 1019-1028
4. Solomatov, V.I. Composite building materials polystructural theory / V.I. Solomatov, V.N. Vyrovoy, V.P. Selyaev. – Tashkent: FAN, 1991. – 345 p.
5. Selyaev, V.P. Nanomaterials and nanotechnologies in engineering / V.P. Selyaev // Nauka: 21 vek. – 2011. – №1 (13). – P. 58–66
6. Possibility of heat insulation material creation on the basis of nanostructured silica fume from diatomite / V.P. Selyaev [etc.] // Nauka: 21 vek. – 2011. – №3 (15). – P. 76-86
7. Venikov, V.A. Theory of similarity and modeling: study guide for higher education establishments / V.A. Venikov. – Vol. 2. – M.: Vysshaya Shkola, 1976. – 479 p.

УДК 535.32

*Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева*Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, 24,
тел./факс: (8342) 47-71-56**Черкасов Василий Дмитриевич**,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Прикладная механика»
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru**Юркин Юрий Викторович**,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Прикладная механика»
E-mail: yurkinuv@gmail.com*Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева*Россия, 430005 г. Саранск,
ул. Большевикская, 68
тел.: 8(8342)48-25-68*ООО «Завод герметизирующих материалов»*Россия, 606008, Нижегородская область,
г. Дзержинск, а/я 97,
тел. (8313) 27-52-95**Савченкова Галина Анатольевна**,
соискатель кафедры «Прикладная
механика», директор
E-mail: abris@zgm.ru**Артамонова Татьяна Александровна**,
соискатель кафедры «Прикладная
механика», заместитель директора по НИР
и развитию
E-mail: abris@zgm.ru*The Mordvian State University named after N.P.Ogaryov*Russia, 430000, Saransk, 24, Soviet St.,
tel./fax: (8342) 47-71-56**Cherkasov Vasily Dmitrievich**,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Applied mechanics»
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru**Yurkin Yuriy Viktorovich**,
Candidat of Science, Associate professor of
the department «Applied mechanics»
E-mail: yurkinuv@gmail.com*Mordovian State University named after N.P.Ogaryov*Russia, 430005, Saransk, 68, Bolshevistskaya St.,
tel.: 8(8342)48-25-68*Sealing Materials Plant*Russia, 606008, Nizhniy Novgorod Region,
Dzerzhinsk, Post office box 97,
tel.: +7-8313-275295**Savchenkova Galina Anatolyevna**,
Researcher of the department «Applied
mechanics», Director
E-mail: abris@zgm.ru**Artamonova Tatyana Alexandrovna**,
Researcher of the department «Applied
mechanics», The deputy director on research
work and development
E-mail: abris@zgm.ru

КОМПОЗИЦИИ ИЗ НЕПОЛЯРНЫХ КАУЧУКОВ ДЛЯ НЕОТВЕРЖДАЕМЫХ ГЕРМЕТИКОВ*

В.Д. Черкасов, Г.А. Савченкова, Т.А. Артамонова, Ю.В. Юркин

Рассматриваются основные физико-механические свойства неотверждаемых герметиков на основе композиций из неполярных каучуков, таких как бутилкаучук и СКЭПТ. Проведенные исследования позволяют определить оптимальное их соотношение при различном содержании пластификатора.

Ключевые слова: герметик, бутилкаучук, СКЭПТ, адгезия, полимерная смесь.

COMPOSITIONS FROM NOT POLAR RUBBERS FOR INCONGEALABLE SEALANTS

V.D. Cherkasov, G.A. Savchenkova, T.A. Artamonova, Y.V. Yurkin

The basic physicommechanical properties of incongealable sealants on the basis of composition from butyl rubber and EPDM are described in the article. The researches allow to define their optimum correlation at different plastifier content.

Keywords: sealant, butyl rubber, EPDM, adhesion, polymer compound.

* Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Для герметизации неразъемных соединений, не несущих больших нагрузок, широко применяются неотверждаемые герметики. Учитывая большие объемы их использования, а также высокие эксплуатационные требования при доступности и небольшой стоимости, их начинают применять на основе бутилкаучука и СКЭПТ. Поэтому весьма актуальной представляется задача получения герметизирующих материалов на основе вышеуказанных каучуков, обладающих высокими технологическими и эксплуатационными требованиями.

Бутилкаучук [1] – продукт совместной полимеризации изобутилена с небольшим количеством изопрена. Линейная структура молекул бутилкаучука обуславливает его высокую стойкость к действию кислорода, озона, кислот, щелочей, теплоты и солнечного света. Бутилкаучук обладает исключительно низкой газо- и паропроницаемостью. Хорошее противодействие длительному воздействию высоких температур, способность выдерживать большие напряжения, высокая влаго- и озоностойкость, биологическая инертность делают бутилкаучук идеальным материалом для изготовления герметиков.

Бутилкаучук хорошо совмещается с этиленпропиленовым каучуком. Свойства *этиленпропиленовых каучуков* [1] зависят от содержания в них этилена и пропилена, молекулярной массы, молекулярно-массового распределения, кристалличности и композиционной неоднородности, а также от природы третьего мономера (для СКЭПТ). Специфические свойства этиленпропиленового каучука: стойкость к тепловому, окислительному и озонному старению, к действию агрессивных сред. Этиленпропиленовый каучук превосходит другие синтетические каучуки по износостойкости, сопротивлению разрастанию трещин и стойкости при повышенных температурах.

Целесообразность введения СКЭПТ в бутилкаучук обусловлена следующими свойствами этиленпропиленовых каучуков: они более прочные, имеют самую низкую плотность среди каучуков, могут принять большую массовую долю наполнителей и мягчителей. Для пластификации полимерной смеси каучуков наиболее применяемыми и доступными являются нефтяные масла [2].

В связи с тем, что свойства герметика предопределяются свойствами полимеров, на основе которых он сделан, необходимо установить закономерности свойств полимерной смеси бутилкаучука со СКЭПТ и характер воздействия на смесь пластификатора.

Было определено влияние на физико-механические характеристики герметика на основе бутилкаучука БК-1675Н различного содержания СКЭПТ различных марок (вязкостей): СКЭПТ-40 и СКЭПТ-50 при различном содержании пластификатора И-20А. Указанные компоненты вводились в следующих соотношениях: БК – 100 мас.ч., СКЭПТ – 100–300 мас.ч., масло – 20–70 % по массе от общей массы БК и СКЭПТ. Проводились исследования по влиянию соотношения компонентов на пенетрацию (рис. 1) полимерной смеси, прочность связи с металлом (рис. 4) и бетоном (рис. 2) при отрыве, а также прочность связи с металлом при сдвиге (рис. 5) и при отслаивании (рис. 3).

При исследованиях отмечался характер разрушения (когезионный/адгезионный), так как адгезия герметика к различным материалам должна превосходить когезионную прочность, то есть характер разрушения адгезионного соединения должен быть когезионным.

Экспериментально установлено, что характер закономерностей влияния количества пластификатора (масла И-20А) на свойства герметика постоянен при различных марках СКЭПТ и при различных соотношениях СКЭПТ и БК:

1. При содержании пластификатора до 30 % к массе смеси полимеров происходило адгезионное разрушение соединения как с бетоном, так и с металлом. При добавлении масла свыше 70 % – образовывалась гелеобразная масса. Таким образом определено, что область массовых долей пластификатора для производства герметика, отвечающего технологическим и эксплуатационным требованиям, лежит в пределах от 30 до 70 %.

2. Изменение пенетрации в зависимости от количества масла (см. рис. 1) имеет вид гиперболы: до 25 % пенетрация практически не меняется, а после 65 % начинает стремиться к бесконечности. Однако на отрезке от 30 до 55 % характер изменения пенетрации можно считать линейным. В среднем увеличение содержания масла на 1 % приводит к увеличению пенетрации полимерной смеси на 0,2 мм.

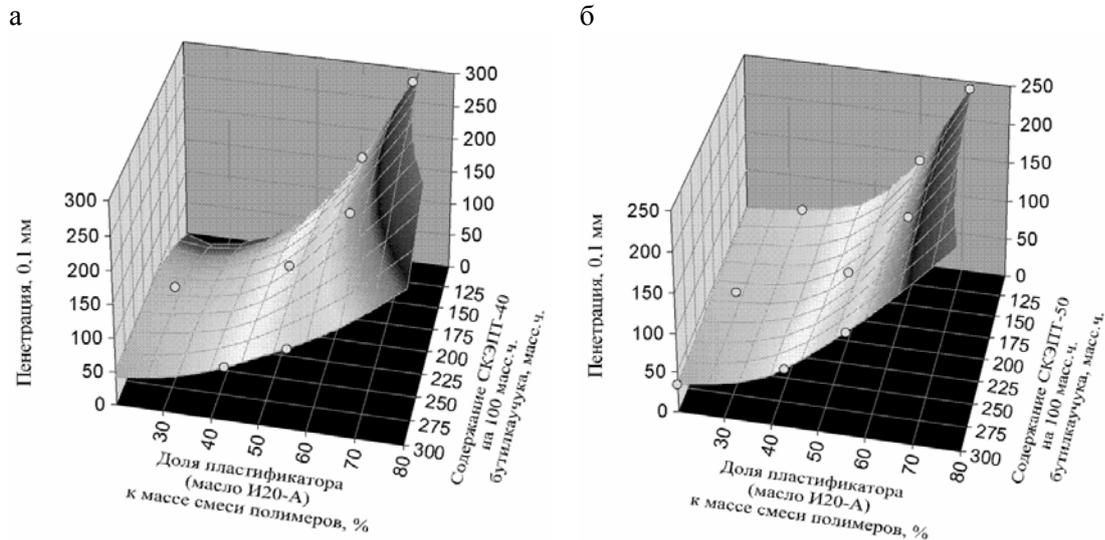


Рис. 1. Изменение пенетрации при пластификации и при различном содержании СКЭПТ

3. Прочность связи с бетоном (см. рис. 2) максимальна при минимально возможном количестве масла (30 %). С увеличением процентного количества пластификатора прочность связи с бетоном падает незначительно, практически линейно со средним темпом 0,003 МПа на 1 % пластификатора. Увеличение доли пластификатора свыше 55 % приводит к резкому снижению прочности связи с бетоном.

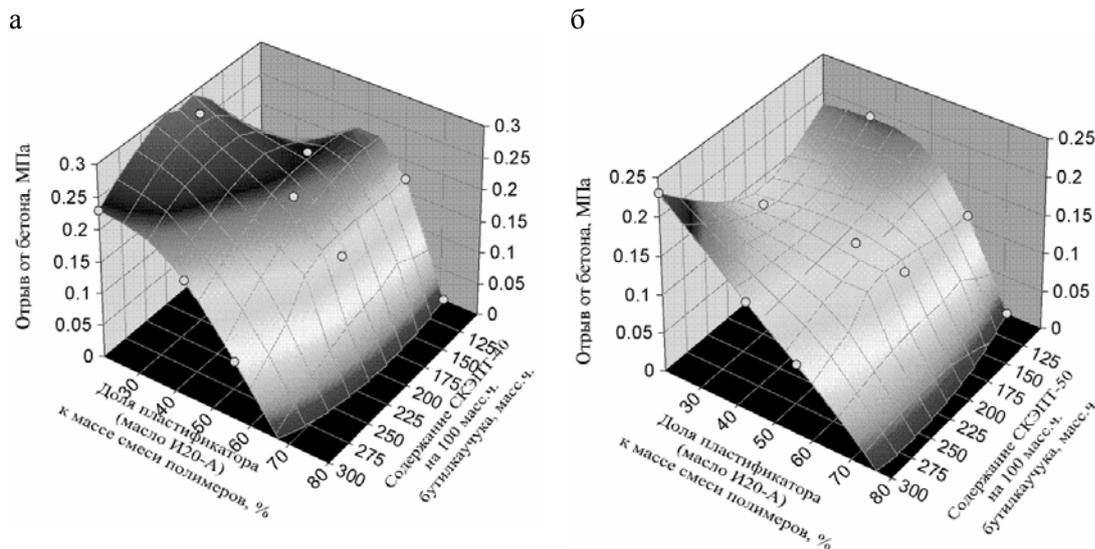


Рис. 2. Изменение прочности связи с бетоном при отрыве при пластификации и при различном содержании СКЭПТ

4. Зависимости прочности связи с металлом, определяемые различными способами, имеют одинаковый седлообразный вид и экстремальный характер (см. рис. 3 и 4): при содержании масла менее 20 % полимерная смесь не прилипает к поверхности металла, а свыше 70 % – представляет из себя гелеобразную массу; вид графика – перевернутая парабола с вершиной (максимальными значениями адгезионной прочности с металлом) при 40 %-м содержании пластификатора в полимерной смеси.

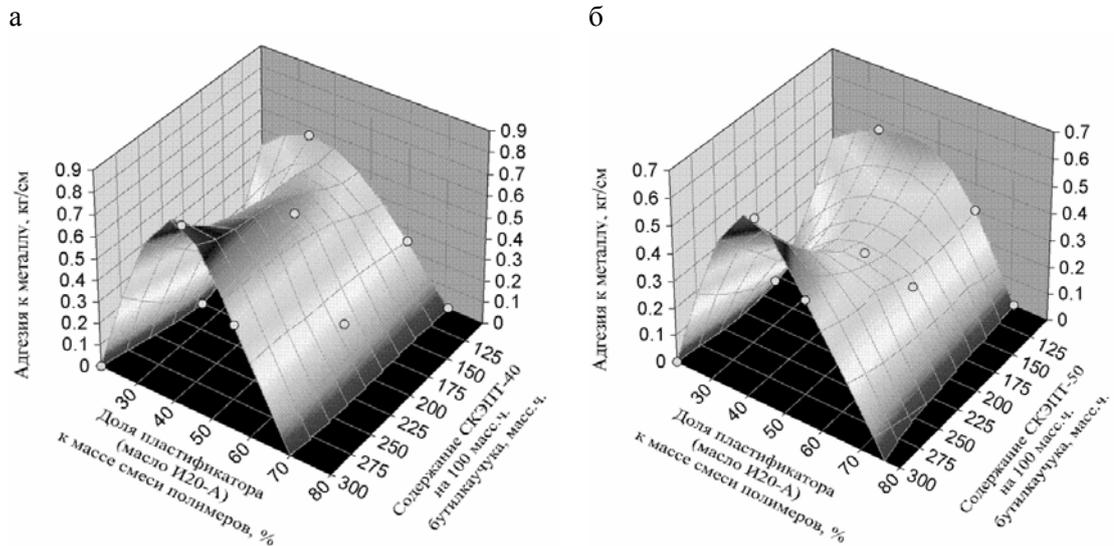


Рис. 3. Изменение прочности связи с металлом при отслаивании при пластификации и при различном содержании СКЭПТ

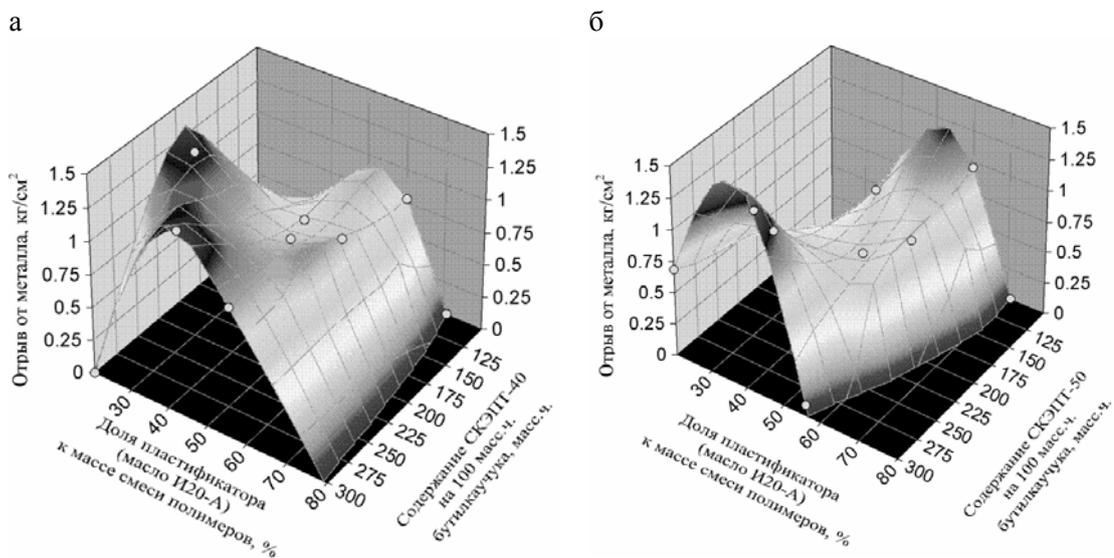


Рис.4. Изменение прочности связи с металлом при отрыве

С увеличением количества пластификатора происходит снижение прочности связи с металлом при сдвиге со средним темпом 0,4–0,5 кПа с каждым процентом масла (см. рис. 5).

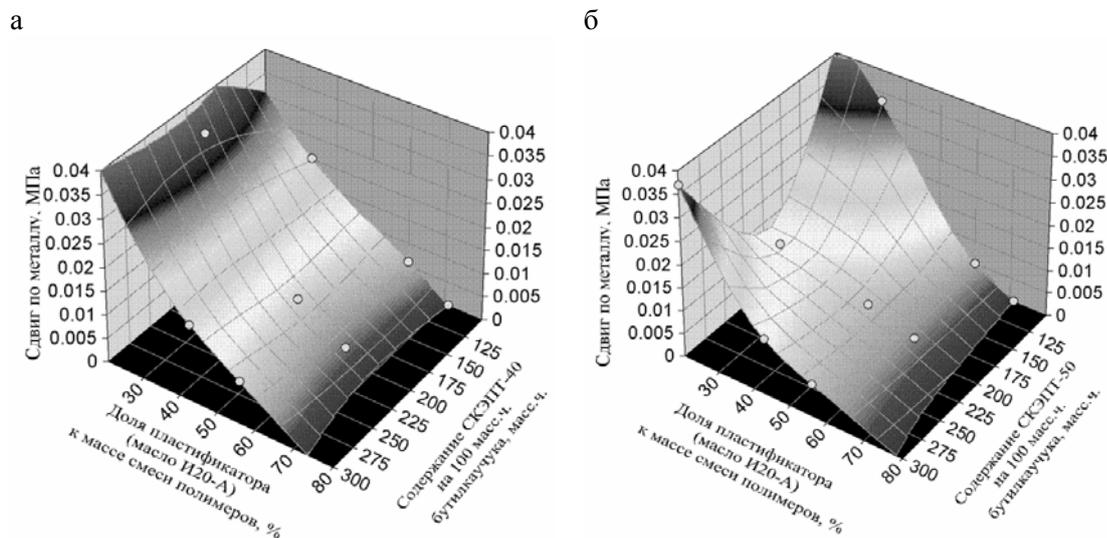


Рис.5. Изменение прочности связи с металлом при сдвиге при пластификации и при различном содержании СКЭПТ

Таким образом, установлено, что с увеличением содержания доли пластификатора увеличивается адгезионная прочность (способность приклеиваться к поверхности материалов), но снижается когезионная прочность. Следовательно, оптимальным содержанием пластификатора является баланс между адгезионными и когезионными свойствами герметика, а также необходимыми технологическими свойствами смеси (пенетрации). Оптимальным количеством масла в полимерной смеси можно считать ее массовое содержание в полимерной смеси от 35 до 50 %.

Анализируя зависимости влияния массового содержания СКЭПТ в смеси с бутилкаучуком на свойства герметика, при постоянном содержании пластификатора в смеси каучуков, можно сделать выводы:

1. Использование СКЭПТ различных вязкостей по Муни (СКЭПТ-40 и СКЭПТ-50) незначительно влияет на свойства полимерной смеси с точки зрения основных требований к герметику. Можно заметить, что у смеси со СКЭПТ меньшей вязкости чуть выше пенетрация и лучше все характеристики по прочности.

2. Характер влияния на основные свойства герметика от содержания различных марок СКЭПТ (СКЭПТ-40 и СКЭПТ-50) одинаков.

3. Самая главная особенность – то, что введение в бутилкаучук этиленпропилендиенового каучука практически не изменяет основные свойства герметика: не изменяется пенетрация (см. рис. 1), практически не изменяется прочность связи с бетоном (см. рис. 2); прочность связи с металлом (см. рис. 3 и 4) и прочность связи с металлом при сдвиге (см. рис. 5) изменяется более заметно, снижаясь до соотношения БК+СКЭПТ 1:2, но затем снова повышаясь, причем при соотношениях БК+СКЭПТ 1:1 и 1:3 значения прочности связи с металлом практически одинаковы. Это дает возможность брать любое соотношение БК+СКЭПТ в зависимости от цен на эти материалы, уменьшая себестоимость герметика, но не изменяя его эксплуатационных характеристик.

Наиболее оптимальное соотношение этиленпропиленового каучука и бутилкаучука при получении герметика, предназначенного для использования в строительстве, является 1:1 при количестве пластификатора 40–50 % от массы смеси каучуков.

Проведенные нами исследования показали, что у смеси этиленпропиленового и бутилкаучуков недостаточная клеящая способность и для того чтобы герметик мог приклеиваться к поверхности другого материала, требуется введение большой доли пластификатора, что снижает когезионную прочность материала. Следовательно, необходимы добавки, повышающие клейкость герметика, например добавление в смесь каучуков полиизобутилена или смол.

При оптимизации рецептуры герметика следует отталкиваться от двух закономерностей:

1. Соотношение в смеси каучуков бутилкаучука и этиленпропиленового каучука практически не влияет на свойства герметизирующего композита. Их соотношение в композиции следует устанавливать исходя из текущей стоимости этих компонент. В настоящее время СКЭПТ примерно в 2,5 раза дешевле БК и экономически эффективна большая его доля в смеси каучуков, однако при слишком больших долях СКЭПТ теряются технологические свойства герметика, (теряется липкость, повышается жесткость), и он становится неудобным в работе.

2. Введение пластификатора (индустриального масла), повышая пенетрацию и липкость композиции, ухудшает все остальные показатели. Массовая доля нефтяного масла в композиции должна быть минимальной и определять из условия приобретения герметиком когезионного характера разрушения соединения и достижения необходимых технологических характеристик (пенетрации, липкости).

Список литературы

1. Махлис, Ф.А. Терминологический справочник по резине: справ. изд. / Ф.А. Махлис, Д.Л. Федюкин. – М.: Химия, 1989. – 400 с.
2. Литвинова, Т.В. Пластификаторы для резинового производства / Т.В. Литвинова. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971. – 84 с.

References

1. Mahalis, F.A. Rubber terminological Reference: Ref. ed. / F.A. Mahalis, D.L. Fedyukin. – M.: Khimiya, 1989. – 400 p.
2. Litvinov, T. Plasticisers for rubber production / T. Litvinov. – M.: TsNIITEneftehim, 1971. – 84 p.

УДК 620.22:620.17

Оренбургский государственный университет
Россия, 460018, г.Оренбург,
пр.Победы, д.13,
тел./факс 8(3532) 72-37-01

Альбакасов Азамат Илькинович,
кандидат технических наук, доцент,
декан архитектурно-строительного
факультета
E-mail: post@mail.osu.ru

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

Королев Евгений Валерьевич,
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, проректор по учебной
работе, директор НОЦ «Нанотехнологии»
E-mail: korolev_ev@rambler.ru

Orenburg State University
Russia, 460018, Orenburg,
13, prospect Pobedy,
tel./ fax 8(3532) 72-37-01

Albakasov Azamat Ilkinovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Architecture
and Construction
E-mail: post@mail.osu.ru
Moscow State University of Civil Engineering

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

Korolev Evgeniy Valeryevich,
Doctor of Science, Professor,
Adviser of the Russian academy of
architectural and building science, vice rector
for academic affairs, director of research and
education center «Nanotechnology»
E-mail: korolev_ev@rambler.ru

СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ*

А.И. Альбакасов, Е.В. Королев

Приводятся результаты системного проектирования серных композиционных материалов по совокупности частных моделей, описывающих отдельные свойства, с последующей многокритериальной оптимизацией.

Ключевые слова: системное проектирование, композиционные материалы, моделирование свойств.

SYSTEM DESIGN OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON SULFUR

A.I. Albakasov, E.V. Korolev

The results of sulfur composite materials system design based on the combination of models describing individual properties with the following multiobjective optimization are given.

Keywords: system design, composite materials, modeling of the properties.

В соответствии с известным *принципом моделируемости* сложная система представляется конечным множеством моделей, отражающих определенную грань ее сущности. Это дает возможность исследовать свойство или группу свойств сложной системы с помощью одной или нескольких упрощенных (узко ориентированных) моделей часто и без разработки обобщающих моделей лишь наращиванием множества упрощенных моделей, отражающих сложную систему в целом. Модель, ориентированная на определенную группу свойств сложной системы, должна быть более простой, чем сама система (создание полной модели практически невозможно, ибо она будет столь же сложной, как и сама система).

Ниже приводятся результаты разработки серных композиционных материалов, в том числе наномодифицированных, на основе последовательного рассмотрения совокупности частных критериев (определенных в соответствии с техническим заданием) и соответствующих моделей, описывающих подвижность смеси, прочность, пористость, радиационный разогрев, долговечность.

* Печатается при поддержке гранта Президента РФ МД-6090.2012.8.

Происходящие в композите структурные изменения при введении наполнителя можно оценить по реологическим кривым. Характерные степени наполнения устанавливаются по энергетическому параметру, определяемому по концентрационным зависимостям предельного напряжения сдвига смеси. При однородном распределении фаз общее количество энергии на перемещение смеси $E = e_i^V V_i N_f$. Откуда

$$\frac{e_i^V}{E} = \frac{1}{V_i N_f},$$

где $N_f = \frac{6v_f}{\pi d_f^3}$ – количество структурных элементов; e_i^V – количество энергии, расходуемой на перемещение единицы объёма

$V_i = \frac{\pi}{6} d_f^3 \left(1 + \frac{h}{d_f}\right)^3$ композита (структурного элемента – частицы дисперсной фазы (наполнителя) диаметром d_f , окружённой вязущим веществом толщиной h); v_f – объёмная доля наполнителя.

Подвижность смеси определяется соотношением

$$\tau = a \left(\frac{h}{d_f}\right)^{-b} = a \cdot \varphi^{-b},$$

где τ – предельное напряжение сдвига; a , b – эмпирические коэффициенты; для серных мастик предельное напряжение сдвига зависит от количества и дисперсности наполнителя [1]:

$$\tau = a' e^{b'v_f} = f(v_f);$$

здесь a' , b' – эмпирические коэффициенты.

Таким образом, структурные преобразования в композите, оказывающие существенное влияние на подвижность смеси при выбранных значениях констант, описываются соотношением (рис.1):

$$\frac{e_i^V}{E} = \frac{1}{v_f \left[1 + \left(\frac{a'}{a} e^{b'v_f}\right)^{\frac{1}{b}}\right]^3}. \quad (1)$$

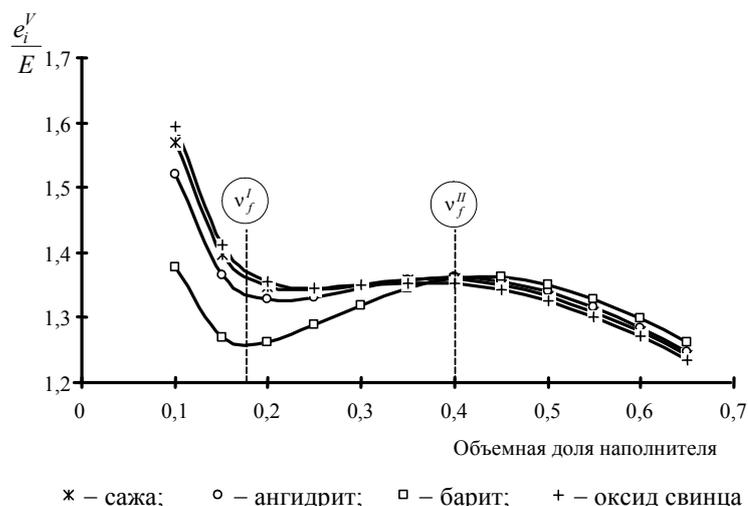


Рис.1. Зависимость отношения e_i^V/E от степени наполнения

Уменьшение значений e_i^V/E на первом участке объясняется очевидной подвижностью частиц наполнителя, для перемещения которых и образования поверхностей скольжения затрачивается малое количество энергии, подводимой извне. Здесь дисперсная система имеет неоднородное распределение фаз: в ней неравномерно распределены участки с повышенным содержанием дисперсной фазы и малонаполненные зоны. Такие зоны легко деформируются, и по ним происходит скольжение. С введением дисперсной фазы дополнительно вводится (вовлекается) воздух, что повышает подвижность смеси. В связи с этим малонаполненные мастики характеризуются невысоким значением предельного напряжения сдвига. На втором участке наблюдается увеличение e_i^V/E , что объясняется сближением частиц, уменьшением толщины прослойки вязущего вещества, повышением однородности распределения частиц и вытеснением вовлеченного воздуха. Для разрушения такой структуры необходимо подвести значительное количество энергии (эквивалентно повышению предельного напряжения сдвига); количество энергии, расходуемой на перемещение отдельного структурного элемента, возрастает. Скорость изменения соотношения e_i^V/E на втором участке зависит от дисперсности наполнителя: с повышением удельной поверхности наполнителя скорость растет, что характеризует более интенсивное снижение подвижности мастики. На третьем участке наблюдается уменьшение e_i^V/E , что связано с недостатком вязущего вещества и усиленным вовлечением в смесь воздуха; смесь характеризуется повышенной пористостью.

Объёмные степени наполнения v_f^I и v_f^{II} зависят от удельной поверхности наполнителя и интенсивности вовлечения воздуха в процессе перемешивания смеси.

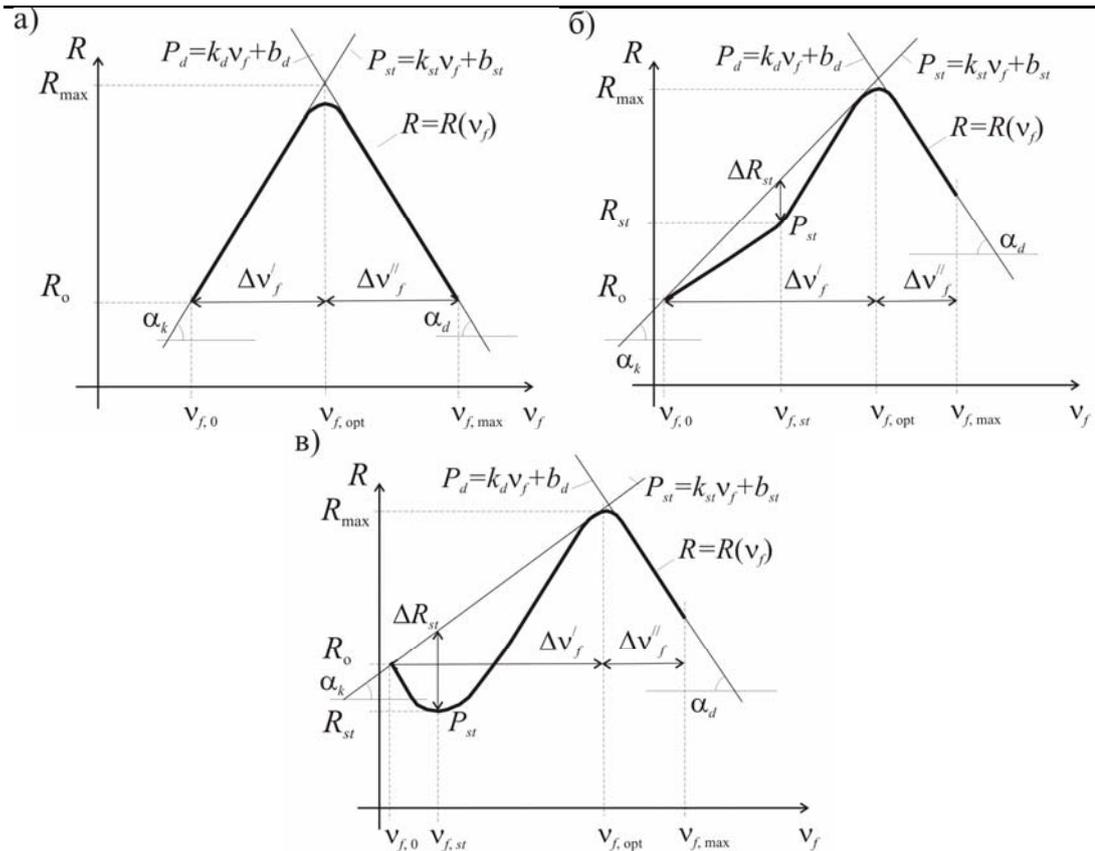
Основным структурообразующим фактором является содержание наполнителя, введение которого приводит к изменению прочности композитов. Зависимость прочности композиционных материалов от степени наполнения имеет один из видов, приведенных на рис. 2. Чем больше дисперсность наполнителя (не зависит от химической активности), тем при меньшей степени наполнения достигается максимальная прочность материала. Для зависимости вида, показанного на рис. 2а, коэффициент

симметричности $k_s = \frac{\Delta v_f'}{\Delta v_f''} = \frac{\text{tg}(\alpha_d)}{\text{tg}(\alpha_k)} = 1$; коэффициент активности конструктивных

процессов $\Delta R_{st} = 0$; кинетический коэффициент конструктивного и деструктивного

процессов $k_\theta = \frac{\alpha_k}{\alpha_d} = 1$. В этом случае структурные преобразования в композите

отсутствуют: влияния границы раздела фаз «дисперсная фаза – вязущее вещество» нет, или оно минимально. Зависимость свойств композита от содержания дисперсной фазы подчиняется закону аддитивности (правило смесей). Дополнительной дисперсной фазой является вовлекаемый воздух: наблюдается снижение прочности материала; $v_f > v_{f,\text{opt}}$. Если зависимость $R = R(v_f)$ имеет вид, приведенный на рис. 2б, то наблюдается повышение прочности композита до $v_{f,\text{opt}}$ с различной скоростью. Если зависимость имеет вид, показанный на рис. 2в, то при начальном наполнении наблюдается снижение прочности материала, которое сменяется повышением прочности до $v_{f,\text{opt}}$ ($k_s \neq 1, \Delta R_{st} > 0, k_\theta \neq 1$). Точка P_{st} (см. рис. 2б,в) соответствует качественным структурным преобразованиям, а именно образованию разветвлённого граничного слоя вязущего, имеющего повышенные показатели свойств.


 Рис. 2. Типичные зависимости $R = R(v_f)$

Как будет далее показано, в общем случае восходящая ветвь зависимости $R = R(v_f)$ от характеристик и содержания наполнителя имеет вид [1]:

$$R_{cm} = \sigma_p (1 - v_{п}) - \sigma_p v_f (1 - \rho_f S_{уд} h_o (k_m - 1)) + \sigma'_f v_f$$

или

$$R_{cm} = K_{cm} v_f + B_{cm}.$$

Коэффициентом σ'_f характеризуется влияние наполнителя; ρ_f , $S_{уд}$ – соответственно, средняя плотность материала наполнителя и его удельная поверхность; h_o – усреднённая толщина прослойки вяжущего, рассчитываемая для оптимальных составов; $v_{п}$ – пористость композита; k_m – коэффициент упрочнения вяжущего;

$K_{cm} = \sigma'_f - \sigma_p \left(1 - \frac{h_o}{d_f} (k_m - 1) \right)$; $B_{cm} = \sigma_p (1 - v_{п})$ определяются по $R = R(v_f)$ для каждого интервала изменения степени наполнения $[v_{f,i}, v_{f,i+1}]$.

Справедливо:

$$\frac{h_o}{d_f} = \sqrt[3]{\frac{\eta_f}{v_{f,opt}}} - 1, \sigma_{p,i} = \frac{B_{cm,i}}{1 - v_{п,i}}; \sigma'_{f,i} = \frac{K_{cm,i} - K_{cm,i+1} \frac{\sigma_{p,i}}{\sigma_{p,i+1}}}{1 - \frac{\sigma_{p,i}}{\sigma_{p,i+1}}}; k_{m,i} = 1 + \frac{\sigma'_{f,i} - K_{cm,i}}{6\sigma_{p,i} \frac{h_o}{d_f}}.$$

Прочность определяется внутренним напряженным состоянием ($v_f^I \neq v_f^{II}$; при больших внутренних напряжениях $v_{f,R'} < v_f^I$ и $v_{f,R''} < v_f^{II}$).

Типичная зависимость $k_m = f(v_f)$ приведена на рис. 3.

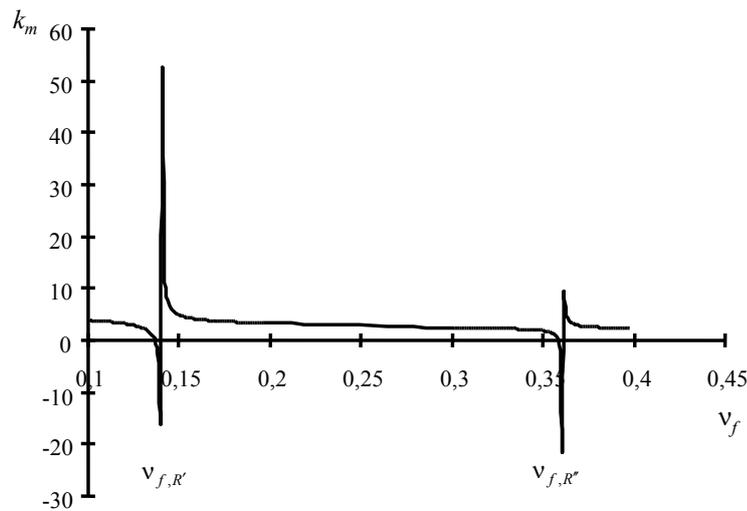


Рис. 3. Типичная зависимость $k_m = f(v_f)$

Прочность композиционного материала зависит также от структуры и фазового состава (наполнитель (дисперсная фаза твёрдых частиц), вяжущее (матрица), воздушные поры (дисперсная фаза воздушных включений)):

$$R_{cm} = R_{cm}^f + R_{cm}^m + R_{cm}^n; \quad R_{cm}^f = \sigma'_f v_f, \quad R_{cm}^m + R_{cm}^n = \sigma'_m v_m = \sigma_p v_p + \sigma_t v_t.$$

Откуда

$$R_{cm} = \sigma_p (1 - v_n) - \sigma_p v_f (1 - \rho_f S_{уд} h_o (k_m - 1)) + \sigma'_f v_f,$$

где σ'_m – коэффициент, характеризующий прочность вяжущего; v_m – объёмная доля вяжущего; $v_p = 1 - \langle v_n + v_f (1 + \rho_f S_{уд} h_o) \rangle$, $v_t = v_f \rho_f S_{уд} h_o$ – объёмная и граничная фазы вяжущего соответственно; σ_p , σ_t – коэффициенты, характеризующие прочности объёмной и граничной фаз вяжущего; η_f – предельная плотность упаковки частиц.

При увеличении степени наполнения прочность мастики монотонно возрастает (максимум при $v_f = 1$, что при заданной технологии изготовления практически не реализуемо; оптимальная структура композиционного материала формируется при $v_f = v_{f,opt} < 1$); композит имеет оптимальную структуру при $v_p = 0$, и вся сера находится в граничном состоянии ($v_f + v_t = 1$); $v_{f,opt} = \frac{1}{1 + S_{уд} r_f h_o}$ – оптимальная степень наполнения. При степенях наполнения, превосходящих $v_{f,opt}$, наблюдается постепенное уменьшение прочности композита.

С учетом предыдущего легко показать, что прочность описывается уравнением (нисходящая ветвь зависимости $R = R(v_f)$)

$$R_{cm} = \sigma_p \left[1 - v_n - v'_f \left\langle \left(1 - \frac{1 - v_{f,opt}}{v_{f,opt}} (k_m - 1) \right) \right\rangle \right] + \sigma'_f v'_f, \quad (2)$$

где $v'_f = 2v_{f,opt} - v_f$.

Коэффициентами k_m и σ'_f учитывается влияние индивидуальных свойств наполнителя на структуру приграничной области вяжущего и материала. По данным реологических исследований определяется $v_{f,opt} = \eta \cdot (1 + \varphi)^{-3}$.

Практически отношение h/d_f находят по $K'_{hom} = \frac{1+3\varphi}{(1+\varphi)^3}$, а граничные значения K'_{hom} – по абсциссе второй параметрической точки v''_f [1] реологической зависимости $\tau = f(v_f)$:

- $K'_{hom} = 0,72...0,83$ при $0,2 \leq v''_f < 0,3$;
- $K'_{hom} = 0,83...0,88$ при $0,3 \leq v''_f < 0,35$;
- $K'_{hom} = 0,89...0,97$ при $0,35 \leq v''_f < 0,45$;
- $K'_{hom} = 0,98...1,0$ при $0,45 > v''_f$.

Пористость Π_{cm} в серных материалах создаётся в основном за счёт уменьшения объёма (на 14,1 %) серы при переходе из жидкого состояния в твёрдое. В процессе изготовления композитов сера частично взаимодействует с наполнителем с образованием сульфидов и газообразного диоксида серы, что также способствует возникновению пор в композите. Эти процессы взаимосвязаны между собой и зависят от многих факторов (вид, количество и удельная поверхность наполнителя). Увеличение площади раздела фаз «сера – дисперсная фаза» приводит к протеканию двух взаимно конкурирующих процессов:

- росту пористости вследствие увеличения количества газообразного диоксида серы, образующегося в процессе химического взаимодействия наполнителя с серой;
- снижению пористости вследствие образования на поверхности частиц наполнителя сульфидов и уменьшения количества серы.

Пористость от физико-химического процесса взаимодействия на границе раздела фаз

$$\Pi_{\phi-x} = \frac{0,141 \cdot \left[\frac{m_s}{\rho_s} - m_f h_x S_{уд} \rho_f \rho_s^{-1} \frac{b \cdot M(S)}{a \cdot M(MeO)} \right]}{\frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_f}{\rho_f} - m_f h_x S_{уд} \rho_f \left[\frac{b \cdot M(S)}{a \cdot M(MeO)} \rho_s^{-1} + \rho_f^{-1} - \frac{c \cdot M(MeS)}{a \cdot M(MeO)} \rho_{MeS}^{-1} \right]}$$

с введением наполнителя уменьшается [1]. Принято:

h_x – толщина слоя наполнителя, вступившего в химическое взаимодействие;

m_f, m_s – масса наполнителя и серы соответственно;

$\rho_f, \rho_s, \rho_{MeS}$ – плотности наполнителя, серы и сульфида соответственно;

a, b, c – стехиометрические коэффициенты химического процесса $a MeO + b S \rightarrow c MeS + d SO_2 \uparrow$;

$M(S), M(MeO), M(MeS)$ – молярные массы соответственно серы, химически активного оксида и сульфида наполнителя.

При достижении определённой степени наполнения ($v_f > v_{f,opt}$) пористость серного материала возрастает (дефицит вяжущего приводит к образованию в серном материале агрегатов из несмоченных частиц наполнителя):

$$\Pi_{cm} = \Pi_{\phi-x} + 0,351 \cdot (v_f - v_{f,opt}). \quad (3)$$

Под действием ионизирующего излучения в материале происходят структурные изменения, сопровождающиеся его разогревом. Количество выделившегося тепла

определяется поглощённой дозой ионизирующего излучения, которая зависит от активности источника, расстояния от источника до слоя защиты, энергии квантов излучения, теплофизических и радиационно-защитных свойств материала защиты, продолжительности облучения, теплового режима работы конструкции защиты и т.д.

В случае точечного источника ионизирующего излучения с активностью A_0 , расположенного от плоского слоя защитного материала с толщиной x на расстоянии R , выделившаяся за время t энергия

$$E_n = A_0 \cdot e_0 \cdot t,$$

где $e_0 = \frac{1}{N} \sum_i^n e_i n_i$ – усреднённое значение энергии γ -квантов полиэнергетического источника; e_i – энергия фотонов i -го энергетического уровня; n_i – количество γ -квантов i -го энергетического уровня; $N = \sum_i^n n_i$.

В соответствии с законом Ламберта – Буггера

$$E = E_0 e^{-\mu x}$$

при прохождении излучения через слой защитного материала энергия ионизирующего излучения уменьшается; $E_0 = \frac{E_n S_0}{4\pi R^2}$ – поверхностная плотность энергии (энергия излучения, падающего на слой защитного материала) при ненаправленном излучении фотонов; S_0 – общая площадь поверхности; μ – коэффициент линейного ослабления γ -излучения материалом защитного слоя, см^{-1} ; x – толщина защитного слоя, см .

Отсюда количество поглощённой энергии

$$E_{\text{погл}} = E_0 - E = \frac{A_0 e_0 S_0 t}{4\pi R^2} (1 - e^{-\mu x}).$$

Если вся поглощённая энергия излучения расходуется на разогрев материала ($E_{\text{погл}} = q = c_m M_k \Delta T$), то

$$\Delta T = \frac{A_0 e_0 S_0 t}{4\pi R^2 c_m M_k} (1 - e^{-\mu x}),$$

где c_m – теплоёмкость материала защиты; $M_k = V\rho = S_0 x\rho$ – масса слоя защиты; ρ – средняя плотность материала защитного слоя.

Одновременно с разогревом материала протекает процесс охлаждения, связанный с отводом некоторого количества тепловой энергии в окружающую среду. Интенсивность этого процесса зависит от теплофизических свойств материала, теплового режима работы конструкции, её формы, геометрических размеров и др. При справедливости закона Ньютона для теплообмена со средой имеем

$$q = \alpha \Delta T = \alpha (T_0 - T_c),$$

где α – коэффициент теплоотдачи; $T_0 = T(0)$ – температура экрана при $t=0$; T_c – температура окружающей среды.

При объёмной мощности q_v внутренних источников тепла температурное поле определится из уравнения

$$\nabla^2 T + \frac{q_v}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$$

($a = \frac{\lambda}{c_m \rho}$ – коэффициент температуропроводности; λ – коэффициент теплопроводности) при условии

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_s + \alpha (T_o - T_c) = 0.$$

Если c_m , ρ , λ не зависят от температуры (при равномерном поле температур), то модель процесса радиационного разогрева представляется соотношением [2]:

$$T(x) = T_c + \frac{A_o e_o}{4\pi R^2 \alpha} (1 - e^{-\mu x}) \left(1 - e^{-\frac{\alpha}{c_m \rho} t} \right); \quad (4)$$

$$T_{\max} = T(h) = T_c + \frac{A_o e_o}{4\pi R^2 \alpha} (1 - e^{-\mu h}) \left(1 - e^{-\frac{\alpha}{c_m \rho} t} \right),$$

где h – толщина конструкции.

$$\text{Стационарный режим – при } t \rightarrow \infty; T_{\max} = T_c + \frac{A_o e_o}{4\pi R^2 \alpha} (1 - e^{-\mu h}).$$

Величина радиационного разогрева материала прежде всего определяется теплоёмкостью, средней плотностью и коэффициентом теплоотдачи. Увеличение теплоёмкости приводит к уменьшению скорости нагрева материала, а с ростом значения коэффициента теплоотдачи время достижения стационарной температуры сокращается (рис.4). При длительном облучении материала величина радиационного разогрева в основном определяется температурным режимом работы конструкции (учитывается коэффициентом теплоотдачи).

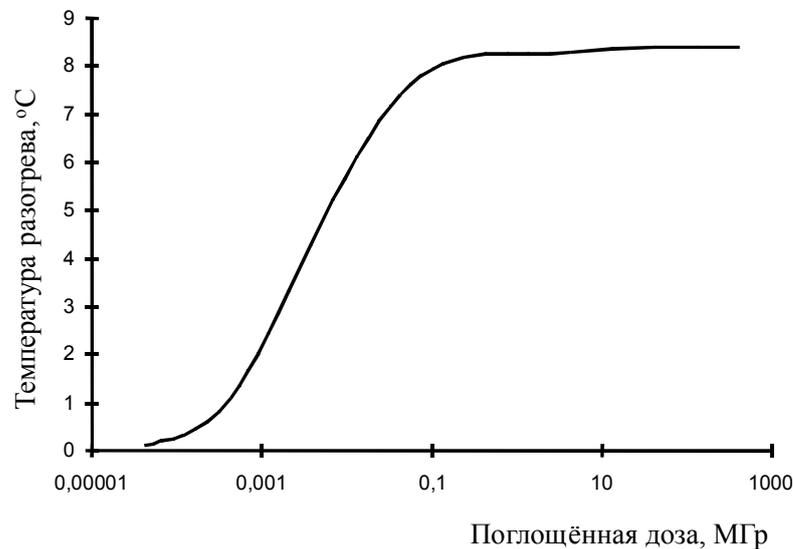


Рис. 4. Зависимость температуры разогрева слоя защиты из серного композита от поглощённой дозы γ -излучения (кратность ослабления $n=10$, $e_o=0,66$ МэВ, $A_o=10^{15}$ Бк, $\alpha=1$ Дж/($m^2 \cdot K$))

Стойкость композиционных материалов к воздействию внешней среды обычно оценивается по отношению текущего значения выбранного показателя качества (например прочности) к первоначальному значению; процессу деструкции соответствует снижение показателя. В процессе эксплуатации материала возможны три последовательных этапа:

– упрочнение структуры и улучшение свойств (образование дополнительных структурных центров);

- относительная стабильность показателей (относительное равенство скоростей деструкции и упрочнения);
- деструкция материала (разрушение структуры и преобладание скорости деструктивных процессов над конструктивными).

При феноменологическом подходе к оценке долговечности материала (основан на методах химической кинетики) фиксируется только фактическое изменение прочности материала без выявления динамики конструктивного и деструктивного процессов. При $\frac{dF}{dt} = -k_d$, $F(0) = F_0$; $k_d = \text{const}$ (F – некоторый параметр, по которому судят об изменении структуры материала при воздействии эксплуатационной среды) коэффициентом эксплуатационной стойкости материала $k_{\text{ст}} = 1 - \frac{k_d}{F_0} t$ определяется срок эксплуатации защитного покрытия (конструкции).

В общем случае стойкость композиционных материалов зависит от структуры (в частности, прочности, как показателя качества структуры); процесс деструкции материала определяется уравнением:

$$\frac{dF}{dt} = -k_d F^n \quad (n = \text{const}); \quad F(0) = F_0.$$

Решение уравнения имеет вид (*модель долговечности*)

$$k_{\text{ст}} = \left[1 - \frac{1-n}{F_0^{1-n}} k_d t \right]^{\frac{1}{1-n}}, \quad k_d = F_0^n e^{\frac{\Delta S}{R}} e^{-\frac{U}{RT}} = F_0^n e^{\frac{B_E}{RT}}, \quad (5)$$

где $A_0 = q_{v,ef} v_{\text{max}} = \text{const}$ – определяет максимальную скорость деструкции при заданных параметрах эксплуатационной среды; v_{max} – максимальная скорость деструкции; $q_{v,ef}$ – коэффициент, определяющий эффективность использования подводимой извне энергии для преобразования структуры материала; U – энергия активации процесса деструкции (равна энергетическому потенциалу стойкости структуры композита в эксплуатационной среде); R – универсальная газовая постоянная; T – температура среды; $v_{\text{max}} = F_0^n$ – характеризует структуру; $q_{v,ef} = e^{\frac{\Delta S}{R}}$ – не зависит от температуры и пропорционален количеству внешней энергии, поглощаемой материалом для преобразования структуры; ΔS – удельное количество энергии, поглощённой материалом; $B_E = (\Delta S T - U)$ – энергетический показатель процесса деструкции; $\Delta S T$ – определяет количество работы, совершаемой внешними силами для преобразования структуры материала.

Способность материала сопротивляться внешним воздействиям определяется значением

$$k_E = \frac{U}{|\Delta S T|}$$

(при $k_E = 1$ композит не стоек в агрессивной среде).

Вычисление энергетических параметров U , ΔS , B_E процесса деструкции производилось по результатам испытаний при различных температурных режимах (при предварительной оценке принималось: $\Delta S = R \ln(F_0^{-1-c})$; $B_E = RT_0 \ln\left(\frac{b}{c} F_0^{-2c-1}\right)$);

$U = RT_3 \ln\left(\frac{c}{b} F_0^c\right)$, T_3 – температура среды). Для материала с высокой стойкостью:

$k_E = \max$; $|\Delta S| = \min$; максимальный срок службы конструкции защиты

$t_{\max} = \alpha_R F_0 A_0^{-1} e^{\frac{U}{RT}}$. Максимальный срок службы защитного покрытия определяется величинами A_0 и U . Указанный подход к прогнозированию долговечности позволяет определить *продолжительность эксплуатации* материала, *обосновать область применения* и провести анализ влияния различных рецептурно-технологических и эксплуатационных факторов на его стойкость.

Разработка и оптимизация параметров серных композитов [1] на основе решения многокритериальной задачи (при ранжированных частных критериях качества с заданными интервалами их изменения) в соответствии с разработанными моделями (1)...(5) подтвердила эффективность использования предложенного метода системного проектирования композитов. При расширении множества критериев качества для оценки композитов, естественно, должны добавляться и другие частные узко ориентированные модели.

Список литературы

1. Королев, Е.В. Радиационно-защитные и химически стойкие серные строительные материалы / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, А.И. Альбакасов. – Пенза, Оренбург: ИПК ОГУ, 2010. – 364 с.
2. Дульнев, Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре / Г.Н. Дульнев. – М.: Высшая школа, 1984. – 246 с.

References

1. Koroliov, Y.V. Radiation-protective and corrosion-resistant sulfur construction materials / Y.V. Koroliov, Yu.M. Bazhenov, A.I. Al'bakasov. – Penza, Orenburg: OSU, 2010. – 364 p.
2. Dulnev, G.N. Heat and mass transfer in electronic equipment / G.N. Dulnev. – M.: High School, 1984. – 246 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

Ивашенко Александр Минович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология строительного
производства»

Калашников Владимир Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Технология бетонов,
керамики и вяжущих»

Каргин Алексей Александрович,
ассистент кафедры «Технология
строительного производства»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Ivashchenko Alexandr Minovich,
Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Technology of Building»

Kalashnikov Vladimir Ivanovich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Technology of concrete,
ceramics and knitting»

Kargin Alexei Alexandrovich,
Assistant lecturer of the department
«Technology of Building»

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ КОЛОНН ИЗ СТАЛИ И ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В СТОЙКАХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

А.М. Ивашенко, В.И. Калашников, А.А. Каргин

Рассмотрены особенности расчета характеристик устойчивости для колонн из стали и высокопрочных бетонов в стойках каркасов зданий.

Ключевые слова: стержневые конструкции, стойки каркасов зданий, колонны из стали и высокопрочных бетонов, характеристики устойчивости, механические модели.

SOME FEATURES OF CALCULATION STABILITY CHARACTERISTICS FOR COLUMNS FROM STEEL AND HIGH-STRENGTH CONCRETE IN RACKS OF BUILDING FRAMES

A.M. Ivashchenko, V.I. Kalashnikov, A.A. Kargin

Some features of calculation stability characteristics for columns from steel and high-strength concrete in racks of building frames are considered.

Keywords: rod designs, buildings skeletons racks, columns from steel and high-strength concrete, characteristic of stability, mechanical models.

Основной целью проектирования колонн в центрально-сжатых неразрезных стойках, а также сжимаемых вертикальных элементов в строительных лесах является исключение их потерь устойчивости. Это требование становится чрезвычайно важным и для колонн, изготовленных из высокопрочных и особо высокопрочных бетонов нового поколения – классов В120–В140. Высокопрочные бетоны получают и эффективно начинают использовать за рубежом при строительстве не только небоскребов, телевизионных вышек высотой 1000 м и более, мостов с пролетами 500–2000 м, нефтяных платформ для добычи нефти и газа в морских шельфах, но и других сооружений с большими расчетными нагрузками. Особенностью таких конструкций является применение комбинированной прутковой и дисперсной арматуры.

Дисперсное армирование бетона фиброй диаметром 0,15–0,25 мм и длиной 6–10 мм превращает его по всему объему в достаточно пластичный микрокомпозиционный материал, обладающий дуктильными свойствами [1]. В отличие от бетона для пруткового армирования прочность дисперсно-армированного бетона при осевом сжатии

увеличивается до 140–150 МПа, при осевом растяжении – до 12–15 МПа, а на растяжение при изгибе – до 40–50 МПа. Ударная прочность возрастает в 15–20 раз. Коэффициент Пуассона находится в пределах 0,33–0,34. Модуль упругости, оцененный при уровне внутренних напряжений от 0,22 до $0,26 \cdot R_{сж}$, – в пределах 0,48–0,50 МПа.

Высокие физико-технические показатели реакционно-порошковых бетонов позволяют изготавливать из них ажурные конструкции с уменьшенными сечениями – у центрально сжатых стоек в 3 раза и более в сравнении с аналогичными конструкциями из традиционных бетонов классов В25–В40. В связи с этим на пути разработки методов расчета колонн, выполненных из нетрадиционных видов конструкционного бетона и отличающихся большой гибкостью, интерес представляет преимущество новых методов, предназначенных для проверки устойчивости стержней при проектировании стальных конструкций в виде неразрезных стоек.

При проверке устойчивости стальных сжимаемых стержней (колонн) должно соблюдаться условие

$$\sum_{k=1}^p N_{j,n,k} \cdot \gamma_{f,k} \leq \varphi_j \cdot R_{j,y} \cdot \gamma_c \cdot A_j \quad (1)$$

Предполагается, что

$$\varphi_j \cdot R_{j,y} \cdot A_j \leq N_{j,\phi} \quad (2)$$

В (1), (2) и в формулах (3), (4) $\sum_{k=1}^p N_{j,n,k} \cdot \gamma_{f,k} = N_j^*$ – расчетная нагрузка при невыгодном сочетании внешних воздействий; N_j – то же, с учетом коэффициента условий работы γ_c ; $\varphi_j \cdot R_{j,y} \cdot A_j = N_{j,d}$ – максимально допустимая упругопластическая несущая способность колонны; $j = 1, 2, 3, \dots, n$ – номер колонны в стойке; $k = 1, 2, 3, \dots, p$ – номер силового воздействия в сочетании нагрузок; $\gamma_{f,k}$ – коэффициент надежности по нагрузке от k -го воздействия; $N_{j,n,k}$ – нормативная нагрузка; $R_{j,y}$ – расчетное сопротивление стали; A_j – площадь сечения колонны брутто; $N_{j,\phi}$ – фактическая несущая способность колонны в стойке.

Стержневые конструкции не должны обладать чрезмерным ресурсом устойчивости, но должны максимально соответствовать уровню безопасности, регламентированному в СП 53-102-2004. Для этого необходимо неравенство (1) заменить равенством (3):

$$N_j^* = N_{j,d} \cdot \gamma_c \quad (3)$$

Замена возможна при соблюдении тождества

$$N_{j,d} = N_j = N_{j,\phi} \quad (4)$$

Проверяя тождество (4) после выполнения инженерного расчета, знак равенства между сопоставляемыми величинами можно использовать при несущественном излишнем ресурсе устойчивости конструкции и при расхождении менее 5 %.

Для соблюдения тождества (4) коэффициенты φ_j , при проектировании стальных стержневых конструкций с небольшой гибкостью ($\lambda_j \leq 150$), необходимо определять в зависимости от характеристик устойчивости (коэффициентов расчетных длин) $\mu_{j,пл}$. Уточненные коэффициенты $\mu_{j,пл}$ позволяют учитывать перераспределение продольных изгибающих моментов.

Методика инженерных расчетов требует уточнения. В инженерных расчетах пока используются приближенные, в условиях дискретности сортамента металлопроката, коэффициенты $\mu_{j,уп}$. В основу вычисления таких коэффициентов заложена теория упругой устойчивости стержневых систем. Поэтому они обозначены $\mu_{j,уп}$. При определении характеристик $\mu_{j,уп}$ применяются различные методы, которые изложены в работах [2, 3, 4].

На ранней стадии исследований [5], выполненных в ЦНИИПСК им. Мельникова, широко использовались результаты решений упругопластической геометрически нелинейной задачи предельного равновесия. Привлекалась известная программа КАССАНДРА. Показано, что возможно варьирование значений коэффициентов расчетных длин μ_j в достаточно широких пределах без изменения несущей способности стержневой конструкции. На основании проведенных исследований делаем следующие выводы: только имея результаты уточненного решения $\mu_{j,пл}$, можно вполне обоснованно оценить корректность частных результатов $\mu_{j,уп}$; результаты уточненного решения должны быть представлены в виде целого спектра взаимосвязанных между собой коэффициентов $\mu_{j,пл}$.

В таблице дается классификация коэффициентов расчетных длин (характеристик устойчивости).

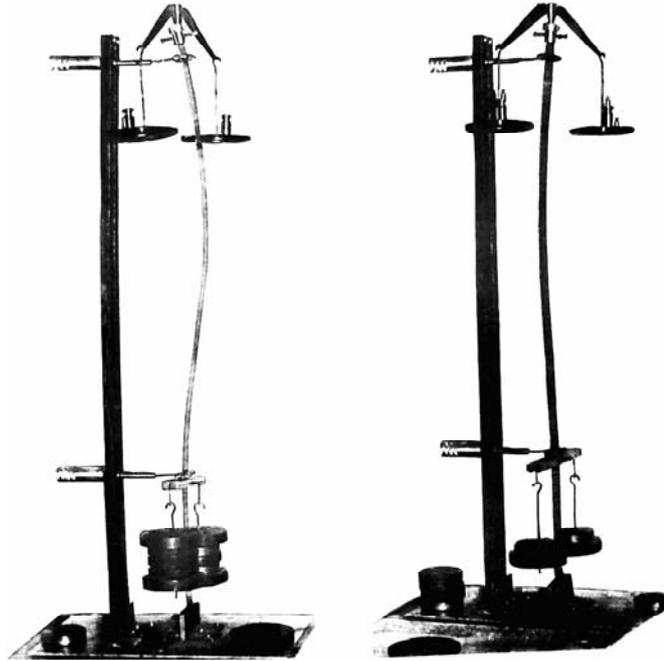
Обозначение	Наименование характеристик устойчивости	Авторы
1	2	3
<i>Приближенные характеристики $\mu_{j,уп}$</i>		
$\mu_{j,пр}$	Коэффициенты приведенных длин, определяемые расчетом упругих стержневых систем при однопараметрической нагрузке	Корноухов Н.В., Лейтес С.Д.
$\mu_{j,пр,н}$	Коэффициенты приведенных длин в базе данных СП 53-102-2004	
$\mu_{j,пр,н}^*$	То же, определяемые с учетом ограничения предельного значения для μ_2 ($\mu_2 \leq 3$)	Бельский Г.Е., Геммерлинг А.В.
$\mu_{j,пар}$	Коэффициенты парциальных длин, вычисляемые при парциальной норме нагружения системы	Куликов Н.Г.
$\mu_{j,т}$	Коэффициенты свободных длин, определяемые на основе теоремы «О наложении и снятии связей»	Нудельман Я.Л.
$\mu_{j,т}^*$	То же, определяемые еще и в предположении равномерного влияния ригелей на устойчивость рамы в соседних ярусах	Нудельман Я.Л., Дривинг А.Я.
$\mu_{j,т,н}$	Коэффициенты свободных длин, задействованные в СНиП II-23-81* и в СП для проверки устойчивости колонн каркасов в направлении вдоль зданий при неоднопараметрической нагрузке	Нудельман Я.Л.
$\mu_{j,в}$	Высший коэффициент, выражаемый через второй, больший по величине критический параметр при однопараметрической нагрузке	Раевский А.Н.
$\mu_{j,эм,н}$	Эмпирические нормативные коэффициенты, определяемые по формулам СНиП II-23-81* (п.6.10*) и СП при однопараметрической нагрузке рамы, когда узлы по этажам загружены одинаково	Гукова М.И., Дривинг А.Я.
$\mu_{j,эм}$	Эмпирические коэффициенты, определяемые по формулам СНиП или СП, но когда узлы по вертикали нагружены неодинаково	Иващенко А.М.
<i>Уточненные характеристики</i>		
$\mu_{j,пл}$	Коэффициенты длин, определяемые предлагаемым вариантным методом.	Иващенко А.М.

Что касается корректности приближенных коэффициентов $\mu_{j,уп}$, их оценку можно осуществить путем сопоставления со значениями уточненных характеристик $\mu_{j,пл}$ для стержневых систем малой гибкости ($\lambda_j \leq 150$).

Целесообразность выполнения в дальнейшем такого сопоставительного анализа обусловлена результатами исследований совместной работы элементов в центрально-

сжатых упругих ($\lambda_j > 150$) стержневых системах. Исследования проводились экспериментально на моделях стоек без ригелей (см. рисунок) [5] и с ригелями. Качественная сторона полученных результатов по характеру взаимодействия стержней в гибких системах оставалась неизменной. Модель (см. рисунок) испытывалась при двух различающихся распределениях нагрузок N_1 и N_2 и при неизменных в двух вариантах загрузки длинах стержней ($l_1 = 22,5$, $l_2 = 67,5$ см).

Экспериментами подтверждена достаточно высокая точность широко известного первого метода определения коэффициентов приведенных длин $\mu_{j,пр}$ и возможность их использования в расчетах. Однако высокая точность достигается не всегда, а только при однопараметрическом нагружении упругой стержневой конструкции с большой гибкостью ($\lambda_j > 150$), когда фактор площадей поперечных сечений не влияет на ресурс общей устойчивости.



В реальных упругопластических стержневых конструкциях, изготавливаемых из стального прокатного материала, $\lambda_j \leq 150$. Для них характеристики $\mu_{j,пл}$ необходимо определять с учетом геометрической и физической нелинейности – можно методом вариантов в форме Эйлера, как описано в [2, 6]. Правомерность такого подхода к решению нелинейных задач устойчивости подтверждается результатами новейших исследований, выполненных расчетами систем с помощью современных вычислительных комплексов [7].

В системах следствием физической нелинейности является возможность перераспределения внутренних усилий между стержнями. Такая возможность противоречит концепции инженерного применения характеристик устойчивости $\mu_{j,уп}$ любой отдельной разновидности (их классификацию см. в таблице). В каждой из этих разновидностей, в том числе и у коэффициентов $\mu_{j,пр}$, численные значения фиксированы и в стержнях не учитывают фактор площадей поперечных сечений.

Для выявления физического механизма перераспределения усилий, возникающих в элементах стержневых систем, проводились численные исследования многими авторами с привлечением разных методик и программных средств. Так, в [7] рассматривается расчет, выполненный методом возобновления величины ограниченных пластических деформаций, стальных плосконапряженных статически неопределимых рам с учетом физической и геометрической нелинейности. В итоге была подтверждена необходимость учета изменения внутренних усилий при уменьшении жесткости поперечных сечений в системах, работающих по деформированной схеме за пределом упругости.

Выводы по результатам исследований следующие:

1. В отличие от характеристик устойчивости $\mu_{j,пл}$, все известные разновидности коэффициентов $\mu_{j,уп}$ в количестве десяти позиций ($\mu_{j,пр}$, $\mu_{j,пар}$, $\mu_{j,т}$, $\mu_{j,эм,н}$, $\mu_{j,в}$, $\mu_{j,пр,н}$, $\mu_{j,пр,н}^*$, $\mu_{j,т,н}$, $\mu_{j,т}^*$ и $\mu_{j,эм}$) имеют один общий недостаток. В стержневых конструкциях с ограниченной гибкостью ($\lambda_j \leq 150$) они не учитывают упругопластических свойств материала реальных колонн, скомпонованных в условиях дискретности сортамента металлопроката и других ограничений (технологических и конструктивных).

2. В любой из десяти разновидностей $\mu_{j,уп}$ функциональная взаимосвязь между коэффициентами μ_j отсутствует.

3. В неразрезной стойке из стали величина коэффициента длины рассматриваемой колонны $\mu_{j,пл}$ находится в функциональной зависимости не только от расчетной схемы стержневой конструкции, геометрических ее размеров, параметров жесткости и распределения внешней нагрузки, но и от собственных значений коэффициентов длин $\mu_{j+1,коб}$ и $\mu_{j-1,коб}$ для примыкающих сверху и снизу сжатых элементов. Это обусловлено физическим явлением перераспределения изгибающих моментов продольного изгиба. Поэтому для любой колонны, работающей в составе многоярусной стержневой конструкции, имеющей определенную расчетную схему вида m , можно записать:

$$\mu_{j,пл} = F_m(\dots \mu_{j+1,коб} \text{ и } \mu_{j-1,коб}), \quad (5)$$

где $\mu_{j+1,коб}$ и $\mu_{j-1,коб}$ – коэффициенты длин колонн, примыкающих соответственно сверху и снизу к рассматриваемой колонне; F_m – функциональная зависимость коэффициента длины для колонны в составе m -й стержневой системы; $m = 1, 2, 3, \dots, r$ (r – общее количество разновидностей расчетных схем, встречающихся в практике проектирования каркасов зданий).

4. Для определенной расчетной схемы многоэтажного каркаса, с фиксированными линейными и жесткостными параметрами, результаты решения задачи устойчивости для колонны в трехмерном пространстве с осями координат $\mu_{j,пл}$ представляют собой вогнутую, со стороны устойчивых состояний конструкции, поверхность. Такая трехмерная поверхность, с зависимостью $\mu_{j,пл} = F_m(\dots \mu_{j+1,пл} \text{ и } \mu_{j-1,пл})$ для любого трехэтажного фрагмента рамы, является пограничной и отделяет область устойчивых и неустойчивых состояний стержневой конструкции, скомпонованной с использованием широко известных формул СП 53-102-2004 и имеющей некоторые собственные (фактические) значения коэффициентов $\mu_{j,коб}$. Коэффициенты $\mu_{j,коб}$ определяются по известным формулам, имеющимся в СП, но с обратными вычислениями.

5. Колонны, имеющие собственные значения коэффициентов расчетных длин $\mu_{j,коб}$, совпадающие со значениями коэффициентов $\mu_{j,пл}$, лежащими на пограничной поверхности, не будут иметь излишнего ресурса несущей способности, т.е. будет соблюдаться тождество (4).

6. При рассмотрении колонн, работающих совместно в двухэтажной стержневой системе, результаты решений задачи устойчивости, выраженные через коэффициенты $\mu_{j,пл}$, должны быть представлены вогнутой, со стороны устойчивых состояний, кривой.

В заключение важно отметить, что испытания физических моделей упругих стержневых конструкций до сих пор проводятся многими авторами. Каких-либо аргументов, противоречащих сформулированным выше выводам, не имеется. Более того, выводы вполне согласуются в том числе и с результатами испытаний конструкций в натуральную величину, т.е. малой гибкости. Такие испытания, целью которых было уточнение расчетных длин для подкрановых частей сплошностенчатых стальных колонн из плоскости рам производственных зданий, проводились коллективом ученых ЦНИИСК им. Кучеренко [8].

В ЦНИИСК установлено, что расчетные длины из плоскости правильнее определять в зависимости как от соотношения продольных сил в верхнем и нижнем ярусах конструкции, так и от соотношения их длин. Экспериментально выявленный диапазон значений коэффициентов в подкрановых частях находится от 0,6 до 1,0.

Список литературы

1. Folker H. Wittmann. Duktilität versus Festigkeit // Fest-Schrift zum 60 Geburtstag von professor, doktor-ingenieur Peter Schließe. Schriftenreihe «Baustoffe». – München: Technisch Universität. – 2003. – Heft 2. – P. 263–266.
2. Иващенко, А.М. Вариационный метод определения коэффициентов расчетных длин для колонн каркасов зданий / А.М. Иващенко, С.В. Бакушев // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 6. – С. 4–10.
3. Иващенко, А.М. О практическом применении характеристик устойчивости для колонн в стойках без ригелей / А.М. Иващенко // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – № 3. – С. 4–9.
4. Иващенко, А.М. Вариационный анализ характеристик устойчивости стальных колонн в несмещаемых рамах / А.М. Иващенко // Изв. вузов. Строительство. – 2008. – № 9. – С. 109 – 114.
5. Иващенко, А.М. Методика расчета сплошностенчатых стальных колонн каркасов промышленных зданий на устойчивость из плоскости рамы: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.М. Иващенко. – М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 1988. – 19 с.
6. Иващенко, А.М. Развитие теории и методов расчета устойчивости стальных колонн каркасов зданий: моногр. / А.М. Иващенко. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 316 с.
7. Улитин, В.В. Анализ устойчивости строительных конструкций с учетом физической нелинейности / В.В. Улитин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2007. – № 3. – С. 23–28.
8. Гукова, М.И. Определение коэффициента расчетной длины из плоскости колонн одноэтажных производственных зданий / М.И. Гукова, С.Н. Яровой // Новые формы и прочность металлических конструкций: сб. науч. тр. ЦНИИСК. – М.: Изд-во ЦНИИСК, 1989. – С. 160–166.

References

1. Folker H. Wittmann. Duktilität versus Festigkeit // Fest-Schrift zum 60 Geburtstag von professor, doktor-ingenieur Peter Schließe. Schriftenreihe «Baustoffe». – München: Technisch Universität, 2003. – Heft 2. – P. 263–266.
2. Ivashenko, A.M. The variation method of definition of factors of settlement lengths for columns of skeletons of buildings / A.M. Ivashenko, S.V. Bakushev // News of high schools. Building. – 2006. – №6. – P. 4–10.
3. Ivashenko, A.M. About practical application of characteristics of stability for columns in racks without crossbars / A.M. Ivashenko // News of high schools. Building. – 2008. – №3. – P. 4–9.
4. Ivashenko, A.M. The variation analysis of characteristics of stability of steel columns in not movable frames / A.M. Ivashenko // News of high schools. Building. – 2008. – №9. – P. 109–114.
5. Ivashenko, A.M. Design procedure сплошностенчатых steel columns of skeletons of industrial buildings on stability from a frame plane: the autor's abstract of the dissertation ph/ d/ in engeneering / A.M. Ivashenko. – M., 1988. – 19 p.
6. Ivashenko, A.M. Development of the theory and methods of calculation of stability of steel columns of skeletons of buildings: the monography / A.M. Ivashenko. – Penza: PGUAS, 2008. – 316 p.
7. Utilin, V.V. Analiz of stability of building designs taking into account physical nonlinearity / V.V.Ulitin // The Building mechanics and calculation sooruzhenij. – 2007. – № 3. – P. 23–28.
8. Gukova, M.I. Definition of factor of settlement length from a plane of columns of one-storeyed industrial buildings / M.I.Gukova, S.N.Yarovoy//New forms and durability of metal designs: collection of scientific works TSNIISK. – M: Publishing house TSNIISK, 1989. – P. 160–166.

УДК 658.562

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

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

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

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

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

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

ФОРМАЛИЗОВАННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

И.А. Гарькина, А.М. Данилов

Приводится краткий обзор методов оценки качества систем со сложной иерархией с возможной их адаптацией к решению задач строительного материаловедения.

Ключевые слова: сложные системы, качество, формализованная оценка, методы, состояние.

FORMALIZED QUALITY ASSESSMENT OF COMPLEX SYSTEMS: CURRENT STATE AND PROSPECTS

I.A. Garkina, F.M. Danilov

The paper provides a brief review of methods for assessing the quality of systems with a complex hierarchy of their possible adaptation to the problems solution of building materials.

Keywords: complex system, quality, formalized assessment, methods, status and prospects.

Качество системы – объективная и наиболее обобщенная ее характеристика, это не просто совокупность свойств системы и ее характеристик, а *единая синергетическая совокупная характеристика всех свойств системы в целом. Управление качеством* системы состоит в обеспечении и поддержании необходимого уровня качества, а *контроль качества* – в процедуре оценивания соответствия системы требованиям путем наблюдения, измерения, испытания или калибровкой.

В условиях неопределенности, сложности проблемы, ее новизны, трудности математической формализации процесса решения при анализе сложных систем широко используются мнения компетентных специалистов – *экспертов*. Несмотря на отсутствие единых правил подготовки и проведения *экспертизы* (процедура получения оценок экспертами), можно выделить следующие ее основные этапы:

- формулировка цели экспертного анализа;
- формирование группы организаторов экспертизы;
- разработка процедур проведения экспертной оценки;
- подбор экспертов;
- получение экспертных оценок;
- обработка результатов опроса и анализ полученных данных;
- установление степени достижения цели экспертизы.

Количественные оценки системы определяются на основе обработки мнений экспертов *формальными методами (методы экспертных оценок: индивидуальные (интервью и аналитическая экспертиза) и коллективные)*. В методе интервью оценка

системы экспертом производится уже в процессе беседы исследователя с экспертом (ответы на заранее подготовленные вопросы), а при аналитической экспертизе результаты анализа оформляются в виде *экспертного заключения*. Для получения обобщенного коллективного мнения экспертов используются *методы коллективной экспертизы* (позволяют компенсировать возможные ошибки отдельных экспертов; практически исключается влияние случайных факторов). С учетом характера взаимодействия между экспертами выделяются *методы открытой дискуссии* (комиссий, суда, мозговой атаки) и *опроса с помощью анкет* (метод простого анкетирования экспертов и метод Дельфи; не предполагают прямого обмена мнениями между членами экспертной группы). При *методе простого анкетирования* осуществляется *одноразовый опрос* экспертов с помощью анкет (обобщение результатов статистическими методами обработки данных; метод обладает большой разбросанностью ответов). Наиболее распространенным при решении сложных задач с привлечением экспертов является разработанный в американской фирме «RAND Corporation» *метод Дельфи*. В методе используются принципы: анонимность экспертизы с применением специальных анкет в 3-4 тура; аргументация ответов на каждый вопрос; предоставление каждому из экспертов обобщенного мнения группы, полученного в процессе предшествующего тура; *процедура экспертизы* носит *итеративный* характер и продолжается до получения близких оценок. Предусматривается и самооценка экспертами своей компетентности; иногда исключается анонимность. В *методике SEER* (System for Event Evaluation and Review – система оценок и обзора событий) предусматривается проведение *двух туров опроса* группами экспертов разного состава. В первом туре составляется перечень событий, определяется их приоритет, проводятся технико-экономические и вероятностные оценки; во втором – осуществляются переоценка и пополнение банка данных, сформированного в первом туре, определяются наиболее важные события и уточняются результаты экспертного заключения. В усовершенствованной модификации метода Дельфи используется системная концепция альтернатив – *картирование* (карта представляет собой иерархическую систему и содержит перечень распределенных по времени приемлемых альтернативных вариантов выбора).

При анализе систем или процессов, имеющих несколько *структурных* или *иерархических* уровней, используется *метод построения «дереьев целей»*. Генеральная цель служит корнем «дерева целей», которое строится путем последовательного выделения все более мелких компонентов на постепенно понижающихся уровнях. Каждая ветвь на каждом из уровней разделяется по крайней мере на два разветвления следующего, более низкого уровня (вершина – точка разветвления). Аналогично, используя принципы системного анализа, можно построить *дерево альтернативных решений*. Если для всех ветвей каждого уровня указать важность каждой задачи по отношению к другим, то дерево становится *нормативным*. По произведению коэффициентов относительной важности всех уровней каждой ветви от верхушки до основания дерева можно найти наиболее эффективный (набравший большой балл) путь решения определенной проблемы или сформулировать главные задачи исследования. Такая методика фактически используется в *методе ПАТТЕРН* и в *методе САТУРН-технологии* [1, 2].

В *морфологическом методе Ф. Цвикки* [3] проблема разбивается на составные части с несколькими подходами к ее решению (на основе комбинации выделенных элементов или их признаков).

Строится таблица с перечислением всех основных элементов объекта и указывается возможно большее число известных вариантов реализации этих элементов (комбинируя варианты реализации элементов объекта, можно получить самые неожиданные новые решения).

Среди модификаций данного метода следует выделить следующие:

- метод систематического покрытия поля (основан на выделении опорных пунктов знания в исследуемой области и использовании сформулированных принципов мышления);
- метод отрицания и конструирования (состоит в отрицании догм и ограничений с последующей их заменой при проведении исследований на противоположные);
- метод морфологического ящика (сначала определяются параметры, от которых зависит решение проблемы; затем на основе оценки и анализа решений при различных их сочетаниях осуществляется выбор наилучшего); имеет наиболее широкое применение.

К сожалению, методу присущи упрощенность подхода к анализу объекта и возможность получения слишком большого числа вариантов для рассмотрения.

Оптимальный путь решения проблемы обычно определяется на основе блок-схемы, на которой указываются все альтернативные пути и последовательности решения задач (если на схеме указываются и соответствующие коэффициенты *относительной важности* задач – аналогия с методикой ПАТТЕРН-анализа).

При подготовке *аналитической справки* (мнения экспертов о возможных путях решения проблемы) применяется *метод сценариев*. Дальнейшие исследования проводятся в соответствии со сценарием на основе формализованных методов системного анализа.

Какие бы методы ни использовались для оценки качества систем, ее результаты во многом будут зависеть от способов *формирования экспертных комиссий*. Целесообразно применять концепции и методы многовариантной коллективной экспертизы [4...6] (список кандидатов в эксперты; выявление различных точек зрения и классификация экспертов; группы не конфликтующих между собой экспертов; оценка их условной компетенции и др.). Не исключается возможность использования и специальной методики классификационного анализа (алгоритмы многомерной автоматической классификации и автоматического выбора начальных условий, человеко-машинная процедура нахождения оптимального числа классов). При получении объективных характеристик каждого из предложений (задача экспертизы) возможно использование и методов *перекрестной экспертизы*.

Как уже отмечалось, качество системы определяется ее свойствами (объективными особенностями). Система, как правило, оценивается одновременно по многим показателям качества. К сожалению, нередок и примитивный подход, когда качество системы пытаются оценить одним числом. Для оценки качества необходимо:

- указать перечень тех свойств, совокупность которых в достаточно полной мере характеризует качество;
- измерить свойства (численные значения);
- аналитически сопоставить полученные данные с подобными характеристиками другой системы, принимаемой за образец или эталон качества.

Полученные результаты и будут с достаточной степенью достоверности характеризовать качество исследуемой системы.

Объективные сведения о свойствах системы получают на этапе метрологического измерения свойств. Выбор же *эталона* качества (базового образца; *квалиметрическая оценка качества* системы не может быть получена без базовых значений показателей качества), с данными которого сопоставляются сведения о свойствах исследуемой системы, является *субъективным*, равно как и *итоговая характеристика уровня качества* системы.

С метрологической (в частности, с квалиметрической) позиции достаточно учесть только внешние проявления качества (качествообразующие свойства). Такой подход к измерению качества, хоть и не ошибочен, но не полон и имеет большую погрешность. Качество определяется как внутренней, так и внешней определенностью системы. Учитываются не только отдельные свойства в их совокупности, но и признаки, а также характеристики внутренней определенности: уровень внутренней структурированности, устойчивости структуры и ее элементов и/или их приспособляемости к изменяющимся условиям функционирования и т.п. Полученный квалиметрический результат (численный показатель уровня качества исследованного объекта по отношению к качеству эталона) – это еще не окончательная оценка качества, а лишь основа оценки качества. Требуется еще установить, в какой степени полученным уровнем качества определяется соответствие интересам или потребностям (*никакой выбранный эталон качества не может удовлетворить всех*).

На низшем иерархическом уровне показателей качества находятся единичные показатели простейших свойств; показателем качества высшего иерархического уровня является *интегральный показатель*. Показатель любого обобщения, кроме самого нижнего (исходного) уровня, предопределяется соответствующими показателями предшествующего иерархического уровня. При комплексной оценке качества, естественно, все разноразмерные показатели свойств должны быть приведены к *безразмерным*. Каждый показатель отдельного свойства должен быть скорректирован коэффициентом его весомости (сумма весовых коэффициентов всех показателей качества на

отдельных иерархических ступенях оценки имеет одинаковое значение). *Недопустимо использование взаимообусловленных, дублирующих показателей одного и того же свойства.* Указанными выше методологическими принципами не исчерпываются все концептуальные положения по оценке качества системы, но они являются основополагающими. Превентивное или корректирующее воздействие на объект с целью изменения качества должно производиться по итогам квалиметрических оценок с разными возможными уровнями формализации с использованием различных шкал (номинальная; порядковая, интервальная (наиболее часто применяются методы *ранговой корреляции*); отношения).

Несмотря на простоту и прозрачность приведенных методов оценки качества сложных систем, к сожалению, они пока не получили должного распространения при разработке композиционных материалов, хотя имеется положительный опыт использования указанных методов при синтезе материалов специального назначения [7, 8].

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Сложные системы: идентификация, синтез, управление: моногр. / И.А.Гарькина, А.М.Данилов. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 308 с.
2. Васильев, С.Н. Интеллектуальный подход к автоматизации моделирования сложных управляемых систем / С.Н.Васильев, Г.А.Опарин, А.Г.Феоктистов // Труды Международной конференции RDAMM-2001. – Новосибирск. – 2001. – Т. 6. Ч.2. Спец. вып. – С.159–168.
3. Zwicky, F. The morphological approach to discovery, invention, research and construction / F. Zwicky // *New methods of thought and procedure.* – Pasadena, 1967. – P. 273.
4. Чернявский, А.Л. Методы многовариантной экспертизы в задаче совершенствования управления пассажирскими перевозками / А.Л. Чернявский, П.Д. Кацыв // Искусственный интеллект. – 2002. – №2. – С.32–39.
5. Дорофеюк, А.А. Методы мультигрупповой многовариантной экспертизы в задачах анализа и совершенствования организационных систем / А.А. Дорофеюк // Труды Института проблем управления РАН. – М.: ИПУ РАН, 2000. – Т. X. – С. 12–18.
6. 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.
7. Гарькина, И.А. Управление качеством материалов со специальными свойствами / И.А.Гарькина, А.М.Данилов // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–74.
8. Гарькина, И.А. Строительные материалы как системы / И.А.Гарькина, А.М.Данилов, Е.В.Королев // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С.55–58.

References

1. Garkina, I.A. Complex systems: identification, synthesis, control: monog. / I.A. Garkina, A.M. Danilov. – Penza: PGUAS, 2011. – 308 p.
2. Vasiliev, S. Intelligent approach to automated modeling of complex control systems / S.N.Vasilev, G.A.Oparin, A.G.Feoktistov // *Proceedings of the International Conference RDAMM-2001.* – Novosibirsk. – 2001. – Volume 6. Part 2. Spec. release. – P.159–168.
3. Zwicky, F. The morphological approach to discovery, invention, research and construction / F. Zwicky // *New methods of thought and procedure.* – Pasadena, 1967. – P. 273.
4. Cherniavsky, A.L. Methods of multivariate examination of the problem of improving passenger transportation management / A.L.Chernyavsky, P.D.Katsyv // *Artificial Intelligence.* – 2002. – № 2. – P.32–39.
5. Dorofeyuk, A.A. Methods of multivariate multigruppovoy expertise for analysis and improvement of organizational systems / A.A. Dorofeyuk // *Proceedings of the Institute of Control Sciences.* – M.: Institute of Control Sciences, 2000. –Vol.X. –P. 12–18.
6. Dorofeyuk, A.A. Expert-ranging analysis methodology in complex organized data processing and control problems (history of development and perspectives) / A.A. Dorofeyuk // *Control Sciences.* – 2009. – № 3.1. – P. 19–28.
7. Garkina, I.A. Quality management of the materials of special properties / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Control Sciences.* – 2008. – №6. – P. 67–74.
8. Garkina, I.A. Building materials as systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.V. Korolev // *Building materials.* – 2006. – №7. – P. 55-58.

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

Россия, 670013, г. Улан-Удэ,
ул. Ключевская, 40 в

Дамдинова Дарима Ракшаевна,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Производство строительных
материалов и изделий»

Тел.: 8 (3012) 21-19-60, 43-23-93,
+7 924 652 50 79

E-mail: Damdinova@mail.ru

Хардаев Петр Казакович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Промышленное и гражданское
строительство», советник РААСН
Тел.: 8 (3012) 41-71-66, 44-23-29

Алексеева Эржена Мункожаргаловна,
ассистент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»

Тел.: 8 (3012) 21-59-58, +7 951 627 12 64

E-mail: Erzhena.alex@mail.ru

Анчилов Намсарай Николаевич,
аспирант кафедры «Сопротивление
материалов»
Тел.: + 7 914 631 66 70, 8 (3012) 21-61-65
E-mail: anchilov@yandex.ru

*Республиканская служба государственного
строительного надзора*

Россия, 670034, г. Улан-Удэ,
ул. Красноармейская, 35

Павлов Виктор Евгеньевич,
кандидат технических наук, главный
специалист отдела по надзору за
строительством

Тел.: +7 902 160 80 79

E-mail: Ctx3@mail.ru

*East-Siberian state university of technologies
and management*

Russia, 670013, Ulan-Ude, 40 в,
Kljuchevsky St.

Damdinova Darima Rakshaevna,
Doctor of Science, Professor of the
department «Manufacture of building
materials and products»

Tel.: 8 (3012) 21-19-60, 43-23-93,
+7 924 652 50 79

E-mail: Damdinova@mail.ru

Khardaev Peter Kazakovich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Industrial and civil building»,
The adviser of the Russian Academy of
Architectural and building sciences
Тел.: 8 (3012) 41-71-66, 44-23-29

Alekseeva Erzhena Munkozhargalovna,
Assistant of the department «Heat- Gas Supply
and Ventilation»

Tel.: 8 (3012) 21-59-58, +7 951 627 12 64

E-mail: Erzhena.alex@mail.ru

Anchilov Namsaraj Nikolaevich,
Postgraduate of the department «Resistance of
materials»
Тел.: + 7 914 631 66 70, 8 (3012) 21-61-65
E-mail: anchilov@yandex.ru

*Republican service of the state building
supervision*

Russia, 670034, Ulan-Ude, 35,
Krasnoarmejsky St.

Pavlov Victor Evgenevich,
Candidat of Science, Chief specialist
of department on supervision of building
Тел.: +7 902 160 80 79

E-mail: Ctx3@mail.ru

О ПРОБЛЕМЕ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПЕНОСТЕКЛА ИЗ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

Д.Р. Дамдинова, П.К. Хардаев, В.Е. Павлов, Э.А. Алексеева, Н.Н. Анчилов

В статье показано влияние состава минералов цеолитсодержащих пород Забайкалья и некоторых других факторов на структуру и основные физико-механические свойства пеностекла.

Ключевые слова: цеолитсодержащая порода, пеностекло, структура, свойства.

TO THE PROBLEM OF IMPROVEMENT THE STRUCTURE OF FOAMGLASS FROM ZEOLITE-CONTAINING ROCKS

D.R. Damdinova, P.K. Khardaev, V.E. Pavlov, E.A. Alekseeva, N.N. Anchilov

In article shows the influence of structure of minerals zeolite-containing raw materials of Transbaikal region and some other factors on the structure and basic physical and mechanical properties of foamglass.

Keywords: zeolite-containing rocks, foamglass, structure, properties.

При получении строительных материалов из нетрадиционных видов сырья всегда существует проблема достижения однородности структуры синтезируемых материалов. В особенности это относится к использованию цеолитсодержащих пород, которые, располагаясь в пределах одного месторождения, отличаются переменностью химико-минералогического состава вследствие различий в условиях залегания, выхода на дневную поверхность и т.д. В связи с этим актуальным является исследование вопроса влияния минералогического состава цеолитсодержащих пород на структуру и свойства пеностекол.

1. Характеристика сырья и методика исследований

Основанием к использованию цеолитсодержащих пород Мухор-Талинского месторождения (Республика Бурятия) для получения пеностекол явился их химико-минералогический состав, позволяющий получать высокопористый материал в условиях низкотемпературного обжига без высокотемпературной варки стекла. Методологически исследования проведены с помощью некоторых ранее примененных нами способов активации исходного сырья, таких, как виброизмельчение и введение в шихту щелочного компонента [1, 2]. С целью интенсификации процесса обжига пеностекол подготовка породы заключалась в следующем: после затворения тонкомолотого порошка цеолитсодержащей породы щелочным раствором шихта подвергалась сушке, а после удаления физически связанной воды образованный конгломерат дробился и размалывался в виброистирателе.

В отношении эффузивных пород, слагающих разрез Мухор-Талинской структуры, установлено, что почти все породы в той или иной степени подвержены цеолитизации. Продуктивная толща приурочена к средней части разреза – суммарному горизонту *витрокластических* и *агломератовых туфов*. Содержание цеолитов в отдельных слоях витрокластических туфов достигает 60-65 %, а в среднем равно 40 %. Согласно данным, приведенным в [3], продуктивная толща распространена на всей площади месторождения (около 8 км²). На значительной части площади цеолитизированные туфы выходят на дневную поверхность, где перекрыты маломощным чехлом рыхлых отложений. Общие запасы руды оцениваются в 170 млн т.

Физико-химические исследования структуры пород и пеностекол проводились с использованием ИК-Фурье спектрометра Nicolet-380 (Thermo Electron Corporation, США), растрового электронного микроскопа JSM-6510LV JEOL (Япония) с системой микроанализа INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания), рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 (НПП «Буревестник», г. Санкт-Петербург) в Центре коллективного пользования «Прогресс» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

По данным рентгенофазового анализа цеолитсодержащих пород, витрокластический туф (далее – витротуф) характеризуется интенсивными рефлексами кристобалита (0,411; 0,395; 0,242 нм). Менее интенсивные рефлексы показали ортоклаз (0,507; 0,296; 0,279 нм), морденит (Ca, K₂, Na₂) [AlSi₅O₁₂]₂·6H₂O (0,903; 0,666, 0,462 нм), кварц (0,340; 0,195 нм), монтмориллонит (0,315 нм) и др. В пробе витротуфа, взятого в другой точке месторождения, были обнаружены цеолитовые минералы – гейландит (Ca, Na₂, K₂) [Al₂Si_{6,0-7,5}O_{16,0-19,0}]₂·(5,5 – 6,5) H₂O и клиноптилолит (K₂, Na₂, Ca) [Al₂Si_{7,5-11,0}O_{19,0-26,0}]₂·(6 – 8) H₂O, а также щелочной силикат галлия и др.

ИК-спектроскопия проб витротуфа, несмотря на различия фазового состава содержащихся в нем цеолитовых минералов, показала общность их характеристических полос. Полоса поглощения у частоты 1654 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям молекулярной воды, у частоты 3456 см⁻¹ – валентным колебаниям гидроксильных групп, у частоты 1051 см⁻¹ – валентным колебаниям силоксановых групп.

Таким образом, к цеолитсодержащим породам Мухор-Талинского месторождения могут быть отнесены *витрокластические* и *агломератовые туфы* с содержанием цеолитов от 40 % (в среднем) до 60-65 % (максимум), а состав этих туфов характеризуется содержанием цеолитовых минералов различного фазового состава – морде-

нита, клиноптилолита из группы гейландита, а также минералами-балластами в виде кварца, монтмориллонита и др.

Вышеуказанное обусловило интерес к исследованию вопроса влияния состава цеолитсодержащей породы (далее – ЦСП), а также некоторых внешних интенсифицирующих воздействий – механоактивации и введения в смеси щелочного компонента – на структуру и свойства пеностекол на основе ЦСП.

Целью исследований является разработка составов пеностекол на основе местных цеолитсодержащих пород с учетом морфологии порообразующих минералов в условиях среднетемпературного синтеза путем непосредственного вспенивания алюмосиликатных масс.

2. Результаты и их обсуждение

Пеностекла получали толщиной не менее 100–150 мм. Увеличение толщины образца более 150 мм представляется нецелесообразным ввиду сложности реализации равномерного нагрева такого образца вследствие возникновения градиента температуры.

На начальном этапе нами были получены пеностекла на основе тонкомолотого витротуфа, содержащего цеолитовый минерал клиноптилолит и щелочную добавку, которая представляет собой водный раствор гидроксида натрия определенной концентрации. Результаты обжига показаны на рис. 1.

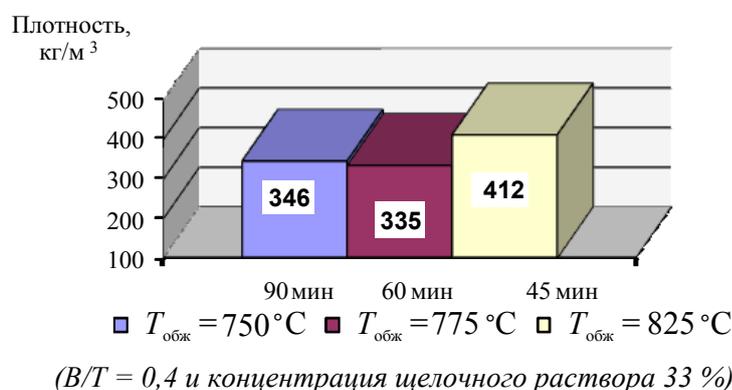


Рис. 1. Влияние режимов обжига на плотность пеностекол

Визуально полученные пеностекла характеризуются равномерной и мелкой пористостью при диаметре пор, не превышающем 1-1,5 мм. Испытания физико-механических свойств показали, что наилучшими показателями обладает пеностекло, которое было получено при температуре $T = 775$ °C и характеризовалось средней плотностью $\rho = 346$ кг/м³, прочностью при сжатии $R_{сж} = 7,5$ МПа, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,11$ Вт/(м·°C) и показателем водопоглощения $W = 5$ масс. %.

Рентгенофазовый анализ пеностекла, полученного из витротуфа с преобладанием клиноптилолита, показал, что фазовый состав пеностекла представлен мональбитом $NaAlSi_3O_8$, в центральной (серой) части образца пеностекла преобладает анортотоклаз $(Na_{0,71}K_{0,3})Al_{1,02}Si_{2,98}O_8$, а в периферийной (зеленой) – анортотоклаз $Na_{0,71}K_{0,29}AlSi_3O_8$. Авторы настоящей работы связывают это с тем, что при превышении оптимального уровня таких факторов, как удельная поверхность шихты и концентрация щелочного раствора, в поризуемой стекломассе начинаются процессы диссипации энергии внешнего воздействия. Как показал эксперимент, фазовое расслоение, о чем свидетельствует различие цвета пеностекла внутри и на периферии, возникало в том случае, если исходный порошок породы, содержащей клиноптилолит, подвергался длительной механоактивации в виброистирателе. Это, вероятно, связано с тем, что клиноптилолит является менее термодинамически устойчивым, чем морденит. В работе [4] на основе анализа адсорбции и десорбции молекул 3,4-бензпирена на поликристаллах клиноптилолита и морденита показано, что с течением времени энергия активации изменения концентрации Н-гексановых растворов 3,4-бензпирена при взаимодействии с цеолитами у клиноптилолита на один порядок меньше, чем у морденита.

По аналогии дегидратированные клиноптилолит или гейландитсодержащие цеолиты будут переходить в другие кристаллические формы при температуре обжига активнее, если увлажненный щелочным раствором порошок витротуфа подвергать длительной выдержке. Пример уплотнения структуры и увеличения плотности материала вследствие указанных явлений показан на рис. 2. Структура материала изменилась от высокопористой до почти беспористо-каменистой.

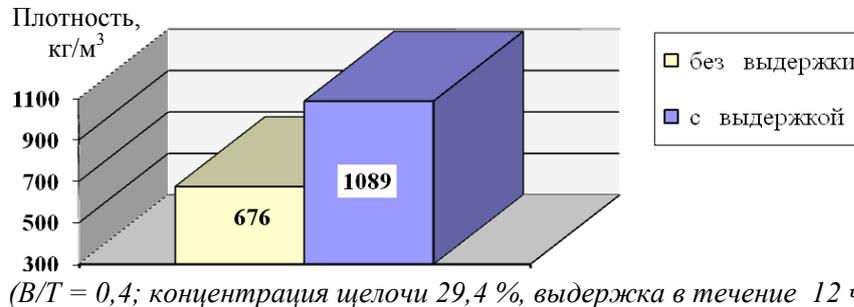


Рис. 2. Влияние предварительной выдержки на плотность пеностекла на основе витротуфа, содержащего клиноптилолит ($T_{\text{обж}} = 725 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Установлено, что длительная предварительная выдержка в щелочном растворе морденитсодержащего витротуфа, способствующая интенсификации процесса вспенивания, снижает плотность пеностекла, а в случае использования клиноптилолитсодержащей цеолитовой породы такая выдержка, наоборот, повышает плотность (рис. 3 и 4).

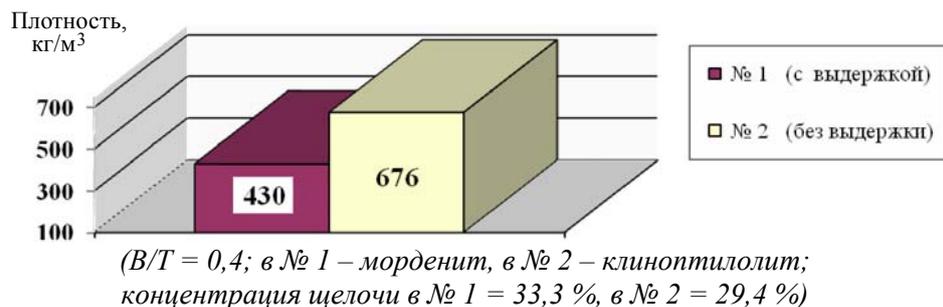


Рис. 3. Влияние предварительной выдержки на плотность пеностекла ($T_{\text{обж}} = 725 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

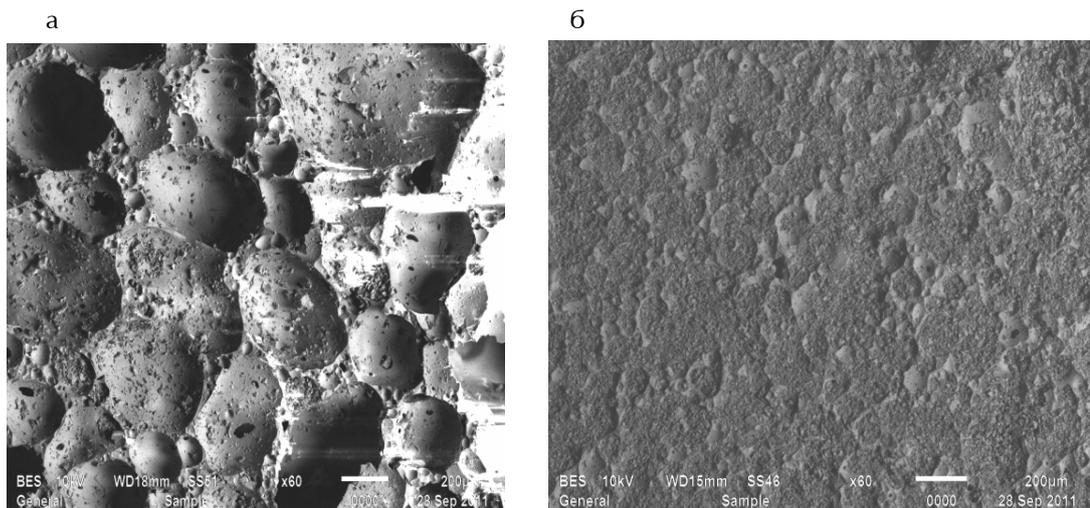


Рис. 4. Снимки электронной микроскопии пеностекол:
а – плотность 430 кг/м³; б – плотность 676 кг/м³

Активизация поризации в случае использования таких интенсифицирующих факторов, как механоактивация, предварительная выдержка в щелочном растворе порошка цеолитовой породы, может быть вызвана: частичным разрушением силоксановых связей, переводом некоторой части кремнезема и глинозема в раствор с превращением их в гелевидное состояние и образованием при этом OH-Si- и OH-Al- связей вместо Si-O-Si и Si-O-Al -связей.

Различие результатов эксперимента при использовании в составах пеностекол различных по составу цеолитовых фаз витротуфов вызвано более широкими входными окнами каналов на поликристаллах клиноптилолита (6-8 E) по сравнению с входными окнами морденита (2,9-5,7 E). Это подтверждают данные, приведенные в работе [5], где показано, что переход SiO_2 и Al_2O_3 в раствор щелочи увеличивается с повышением концентрации действующего раствора, а количества SiO_2 и Al_2O_3 в вытяжках для морденита оказываются существенно меньшими, чем для клиноптилолита.

На рис. 5 представлен РФА пеностекла с рентгеноаморфной структурой.

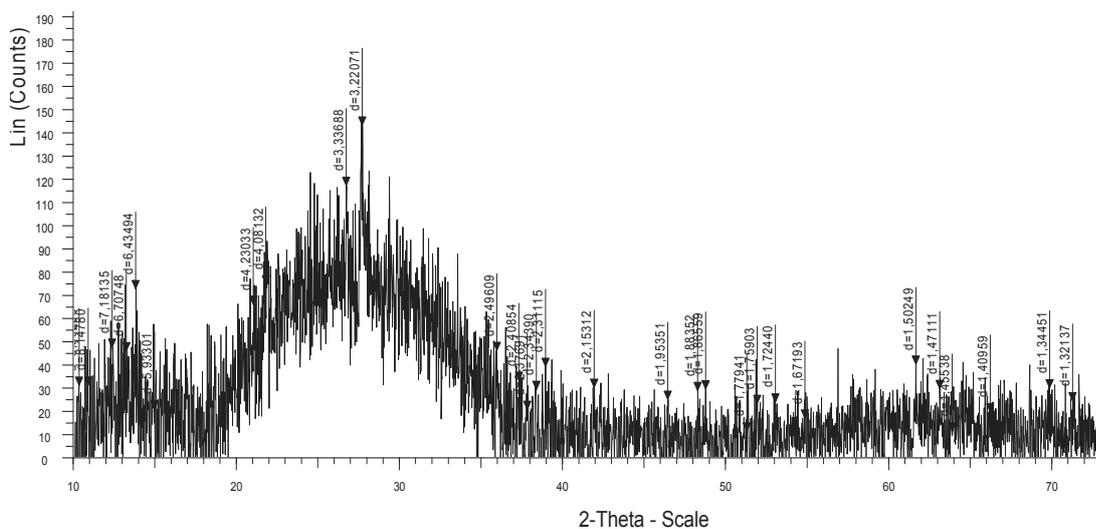


Рис. 5. РФА пеностекла из витротуфа, содержащего клиноптилолит

Установлено, что при создании определенных условий подготовки для каждого вида шихты из цеолитсодержащей породы (с морденитом или клиноптилолитом) можно получить пеностекло с требуемым уровнем средней плотности и удовлетворительной поровой структурой. Причем структура и свойства пеностекла наряду с химическим и фазовым составами ЦСП будут обуславливаться комплексом химико-технологических факторов: продолжительностью вибропомола породы, удельным гранулометрическим составом порошка, водотвердым отношением, концентрацией щелочного раствора, продолжительностью выдержки тонкомолотой породы в щелочном растворе, условиями сушки шихты, продолжительностью вибропомола шихты и т.д.

Окончательно структура и свойства пеностекла будут формироваться на стадии обжига, где будут происходить размягчение стеклошихты и ее вспенивание. Макроструктура обжигового материала в зависимости от условий протекания физико-химических процессов в шихте на стадиях подготовки и от условий проведения термических процессов – обжига, стабилизации и отжига – будет иметь вид как пеностекла с развитой пористостью, так и плотного спененного материала, подобного стеклокерамике.

На основании вышеизложенного авторами сделаны следующие выводы:

1. Если цеолитсодержащая порода в своем составе будет содержать смесь минералов – клиноптилолита, гейландита, морденита и др., то при получении пеностекол с заданными свойствами для каждого вида минерала потребуются свои условия подготовки сырья и обжига пеностекол. Это предьявляет повышенные требования к выяснению вопроса, какой вид цеолитового минерала превалирует в исходной породе.

2. Поскольку в структуру синтезируемого материала входят продукты перекристаллизации цеолитовых минералов, щелочные алюмосиликаты, стекло и т.д., то обожженный материал ввиду неоднородности фазового состава представляет собой плотный спек или материал с развитой поровой структурой. Достижение оптимальной структуры, обеспечивающей наилучшие показатели физико-механических и эксплуатационных свойств пеностекла, определяется соотношением кристаллических и стекловидных фаз в структуре пеностекла, которое, в свою очередь, зависит от того, какая фаза преобладает в структуре исходной цеолитсодержащей породы, и было ли это учтено при установлении условий и режимов получения пеностекла.

3. Повышенная концентрация щелочного раствора, в котором длительное время выдерживается виброизмельченный порошок цеолитовой породы с содержанием *клиноптилолита* и *гейландита*, создает благоприятные условия для развития процесса их перекристаллизации при обжиге. Подтверждением этого служат получение в ряде случаев плотного материала, подобного стеклокерамике, и его фазовый состав, установленный с помощью РФА.

4. Если цеолитовая порода изначально в своем составе будет содержать преимущественно минерал *морденит*, обладающий большей термодинамической устойчивостью, чем *клиноптилолит* (разновидность *гейландита*), то технологическая история обжигового материала с использованием минерала морденита может существенно отличаться от технологических условий, которые рекомендованы для обжигового материала с использованием минерала клиноптилолита. То есть оптимальные условия подготовки, которые рекомендованы для сырья с содержанием преимущественно морденита, могут оказаться не оптимальными для сырья с содержанием преимущественно клиноптилолита, и наоборот.

5. Учитывая, что сырье *априори* будет неоднородным по фазовому составу цеолитовых минералов, представляется целесообразным находить компромиссный вариант при выборе условий подготовки, которые одновременно подходили бы обоим видам шихты (с использованием цеолитовой породы, содержащей преимущественно или *морденит*, или *клиноптилолит*) и позволяли получать пеностекло с требуемыми структурой и свойствами.

6. При поиске компромиссного варианта, определяющего выбор условий подготовки шихты, они могут быть реализованы через воздействие таких факторов, как длительность виброизмельчения и продолжительность выдержки в концентрированном щелочном растворе, режимы термической обработки (температура и продолжительность) и т.д. *Верхние границы этих факторов* будут регламентироваться экономической целесообразностью и возможным развитием процессов диссипации подведенной внешней энергии. Вопрос об экономической целесообразности диктуется достаточно высокой стоимостью щелочного компонента и высокими тарифами на электроэнергию, затрачиваемую на измельчение и термические процессы. *Диссипации подведенной внешней энергии* можно избежать, для этого не следует *одновременно* назначать режимы чрезвычайно длительного виброизмельчения и длительной выдержки порошка породы в концентрированном щелочном растворе, высокую концентрацию щелочного компонента и высокую температуру обжига и т.д.

Список литературы

1. Дамдинова, Д.Р. Эффективные пеностекла на основе эффузивных пород и стеклобоя: моногр. / Д.Р. Дамдинова, П.К. Хардаев, К.К. Константинова. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 166 с.
2. Зонхийев, М.М. Забайкальские цеолиты как сырье для получения пеностекол / М.М. Зонхийев, Д.Р. Дамдинова, П.К. Хардаев, К.К. Константинова // Вестник ВСГТУ. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2008. – № 3. – С. 96-99.
3. Приходько, В.И. Проблемы освоения цеолитизированных пород Мухор-Талинского комплексного перлит-цеолитового месторождения / В.И. Приходько // Новые технологии добычи и переработки природного сырья в условиях экологических

ограничений: материалы Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Улан-Удэ, 26-30 июля 2004 г.). – Улан-Удэ, 2004. – С. 72-74.

4. Евдокимова, В.А. Физика и электроника. Сравнение процессов адсорбции и десорбции молекул 3,4-бензпирена на поликристаллах клиноптилолита и морденита / В.А. Евдокимова, Л.П. Карацуба, С.В. Ланкин // Изв. Самарского науч. центра Российской академии наук. – Т. 11, №5. – 2009. – С. 9–13.

5. Жданов, С.П. Химия цеолитов / С.П. Жданов, Е.Н. Егорова. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1968. – 158 с.

References

1. Damdinova, D.R. Effective foamglass on the basis of effusive raw materials and glasswastes: monography / D.R. Damdinova, P.K.Khardaev, K.K.Konstantinova. – Ulan-Ude: Publishing house of ESSTU, 2006. – 166 p.

2. Zonkhiev, M.M. Transbaikalian zeolites as raw materials for production of foamglass / M.M. Zonkhiev, D.R.Damdinova, P.K.Hardaev, K.K.Konstantinova // Bulletin of ESSTU. – Ulan-Ude: Publishing house of ESSTU, 2008. – № 3. – P. 96–99.

3. Prikhodko, V.I. Development problems of zeolite-containing raw materials of the perlite-zeolite deposit of Mukhor-Talinsky complex region / V.I. Prikhodko // New technologies and processings of natural raw materials in the conditions of ecological restrictions: materials of the All-Russia scientific and technical conference with the international participation (Ulan-Ude, on July, 26-30th, 2004). – Ulan-Ude, 2004. – P. 72–74.

4. Evdokimova, V.A. Physics and electronics. Comparison of processes of adsorption and a desorption of molecules 3,4-benzpirena on klinoptilolite and mordenit polycrystals / V.A. Evdokimova, L.P. Karatsuba, S.V. Lankin // News of the Samara center of science of the Russian Academy of Sciences. – Т. 11, №5. – 2009. – P. 9–13.

5. Zhdanov, S.P. Chemistry of zeolites / S.P. Zhdanov, E.N.Egorov. – L.: Publishing house the Science, Leningrad, 1968. – 158 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

Максимова Ирина Николаевна,
кандидат технических наук,
профессор кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
E-mail: maksimovain@mail.ru

Макридин Николай Иванович,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Технологии бетонов,
керамики и вяжущих»

*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 Science, Associate Professor
of the department «Standartization,
certification, quality audit»
E-mail: maksimovain@mail.ru

Makridin Nikolay Ivanovich,
Doctor of Science,
Professor of the department «Concrete,
Ceramics and Binding technology»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

И.Н. Максимова, Н.И. Макридин

Изложены современные представления о взаимодействии и взаимовлиянии цементного теста (камня) и гранул керамзита в процессе формирования структуры и свойств конструкционного керамзитобетона.

Ключевые слова: керамзитобетон, керамзитовые гранулы, цементная матрица, внутренние напряжения, усадка, набухание, водопоглощение, деформативность.

TECHNOLOGICAL FEATURES OF LIGHT CONCRETES STRUCTURE AND PROPERTIES FORMATION

I.N. Maksimova, N.I. Makridin

Modern knowledge of cement stone and ceramsite granules interaction and dependency in the process of constructive ceramsite concrete structure and properties formation is given.

Keywords: ceramsite concrete, ceramsite granules, cement matrix, internal intensity, shrinkage, swelling, water consumption, deformability.

Особенностью современных исследований в области технологии бетонов вообще и легких, в частности, является то, что в них все с большей определенностью проявляется изучение не только прочности и долговечности, но также и деформативных особенностей этих материалов.

Существенной особенностью легких бетонов является повышенная деформативность пористых заполнителей, а через них – и легких бетонов. Эта особенность оценивается как своеобразный недостаток легких бетонов. Поэтому своевременным и необходимым является изучение деформативных особенностей пористых заполнителей, когда они рассматриваются в сочетании с цементным камнем.

Анализ литературных источников по данному вопросу показал, что существует ограниченное количество работ, посвященных изучению этих свойств заполнителей. Анализируя исследования, выполненные за последние годы в области конструкционных легких бетонов, мы постарались учесть те результаты, которые относятся к формированию их структуры и свойств.

Нам представляется в принципе очень правильной постановка вопроса о необходимости дополнения неоднородности бетона целым рядом факторов, характеризующих

неоднородность с точки зрения специфических особенностей искусственных пористых заполнителей, а именно:

1) искусственные пористые заполнители в процессе их пиропластического производства неизбежно получают существенные внутренние напряжения, которые возникают при охлаждении;

2) представления о пористой структуре заполнителей должны быть дополнены учетом неизбежностей их субмикроскопических разрывов в межпоровых перегородках;

3) контакт с водой должен вызывать не только процесс аккумуляции значительного количества влаги, но и сопутствующие этому деформации расширения и сжатия.

Поскольку в легком бетоне имеются две пористые структуры (цементный камень и заполнитель), в которых баланс влаги непрерывно меняется, необходимо учитывать деформации заполнителей не только при поглощении воды заполнителем из цементного теста и при отдаче ее цементному камню, но также и при циклическом воздействии, когда влага может поглощаться заполнителем и отдаваться в цементный камень.

Следует учитывать также деформации заполнителя, возникающие при обжати его твердеющей окружающей цементной матрицей.

Исследование этих деформативных особенностей искусственных пористых заполнителей мы проводили на плоской и объемной моделях, а также непосредственно в бетоне, что дало возможность подойти к изучению вопроса о взаимном влиянии этих компонентов бетона, приводящих к взаимно обусловленному изменению их свойств.

Для большей объективности получаемых результатов и логического развития разработанных методик исследования был принят следующий порядок изучения деформативных свойств заполнителей и окружающей цементной обоймы (матрицы).

1-й этап. Изучение деформативных особенностей непосредственно на зерне заполнителя.

2-й этап. Изучение деформаций на плоской модели.

3-й этап. Изучение деформаций на объемной модели.

4-й этап. Изучение деформаций заполнителя непосредственно в бетоне.

Поставленные задачи исследования вызвали необходимость в разработке некоторых новых методик, в частности для определения напряженного состояния гранул керамзита.

Отличительной особенностью внутренних напряжений является то, что они существуют и уравниваются в зерне заполнителя без приложения внешней нагрузки. Скорость релаксации напряжений в твердых телах, как известно, мала. Более интенсивное перераспределение такой избыточной потенциальной энергии может наблюдаться лишь при нарушении равновесия между напряжениями и деформациями. Именно на этом принципе основывается предложенный метод: с диаметрально противоположных сторон гранулы ставили репера, затем на участке между реперами выполняли кольцевые надрезы на глубину обжиговой оболочки, которые вызывают нарушения равновесия между напряжениями и деформациями в грануле керамзита.

Особенностью указанной методики является чрезвычайно малый размер измеряемых деформаций в пределах 3...8 мкм. Деформации такого порядка могут классифицироваться для керамических материалов как упругопластические. Полученные численные значения деформаций показывают, что ядро керамзитовой гранулы находится в растянутом состоянии с напряжением 0,6...0,9 МПа, а оболочка гранулы – в сжатом состоянии с напряжением 3...3,5 МПа.

В отдельных случаях, которые характеризуются ярко выраженным неравномерным распределением пор неправильной формы с крупными включениями типа каверн размером до 0,6 мм, знак напряжений меняется на обратный, а именно, оболочка характеризуется напряжениями растяжения, а ядро – напряжениями сжатия.

При контакте искусственных пористых заполнителей с водой имеет место нарастание деформаций расширения, а при высушивании – деформаций сжатия. Однако характерной особенностью при этом является то, что после первого цикла насыщения

и высушивания значительная часть деформаций остается необратимой, то есть для них характерна остаточная деформация расширения. Это относится как к керамзитовому, так и к аглопоритовому зерну, но в большей степени – к керамзиту.

Параллельно определяли прочностные характеристики керамзита и изменение структуры гранул ультразвуковым методом. Опыты показали, что деформативные особенности керамзита коррелируются со скоростью распространения ультразвука, а прочность его не падает ни во влажном, ни в высушенном после насыщения состояниях. Если же воздействие окружающей среды будет циклическим, то есть насыщение водой будет чередоваться с отдачей влаги при высушивании, то характер деформации части заполнителей проявляет аномальность, при этом следует обратить внимание на то, что высушивание проходило в сушильном шкафу при температуре 105 °С.

Обнаруженная аномалия заключается в том, что искусственные пористые заполнители получают деформации расширения не только при насыщении водой, но и при высушивании. Объяснение этой аномалии следует искать в начальном напряженном состоянии структуры заполнителей.

Дальнейшие исследования исходили из трех указанных выше особенностей заполнителей и проводились на модели, состоящей из зерна и цементной обложки. Положительной особенностью модели является отсутствие множественности действующих факторов и выделение при исследовании лишь факторов, характеризующих взаимное влияние между компонентами в результате гидратации цемента и миграции влаги.

Однако модели имеют и недостаток, а именно, не представляется возможным учета на них пространственного расположения зерен в бетоне и переменной толщины оболочек, окружающих зерна заполнителей при разном коэффициенте его насыщения в бетоне. На этих моделях был установлен сложный характер совместных деформаций заполнителя и обложки (матрицы) в процессе твердения последней.

Предполагаемый характер деформаций пористых заполнителей был сформулирован в рабочей гипотезе об эффекте предварительного обжатия пористого заполнителя, повышающего его растяжимость в легком бетоне, которая нашла подтверждение на всех этапах исследования, а именно на плоской и объемной моделях и в бетоне.

Интенсивность обжатия пористого заполнителя, его величина и стабильность этого явления зависят не только от самопроизвольных деформаций цементной обложки, известной как усадка, но также и от деформаций расширения пористого заполнителя, особенно в первые сутки твердения, когда происходит интенсивный обмен влагой между компонентами бетона. Этот эффект расширения пористых заполнителей может быть даже более существенным, чем эффект обжатия за счет деформаций усадки цементного камня (цементно-песчаного раствора).

Эффект предварительного обжатия, который, как установлено, усиливается в результате встречного расширения заполнителя, есть, безусловно, положительное явление в процессе формирования структуры легкого бетона, так как способствует накоплению упругой деформации пористого заполнителя, что, в свою очередь, приводит к повышению его предельной растяжимости.

Проведенные исследования показали, что характер и величина показателей деформации зависят:

- 1) от пористости и деформативности цементного камня и заполнителя;
- 2) от влажностного состояния заполнителя до введения в бетонную смесь;
- 3) от условий твердения, а именно, влажности и температуры окружающей среды;
- 4) от состава цементного раствора и составляющих его компонентов.

Положительные проявления этого эффекта заключаются в том, что упругая деформация расширения пористого заполнителя способствует лучшей адгезии, повышенная деформативность пористых заполнителей разгружает окружающий его цементный камень от возникающих в процессе твердения структурных напряжений, что повышает его трещиностойкость.

Если рассматривать эффект обжатия в чистом виде, то есть если обжатие создает в зерне заполнителя напряжения обратного знака по сравнению с теми, которые будут в

нем возникать при работе конструкции, то можно отметить следующее – в результате усадки, набухания реакционных каемок и проявления осмотического давления наблюдаются существенные деформации обжата зерен заполнителей, которые повышают растяжимость пористых заполнителей, что, в свою очередь, должно положительно сказываться на прочности легких бетонов и конструкций на его основе.

Задачей технологии является создание наиболее благоприятного сочетания деформаций компонентов бетона при формировании его структуры. При этом приходится учитывать возможность одного из следующих трех вариантов влажностного состояния заполнителя: 1) когда он вводится в бетонную смесь в воздушно-сухом состоянии; 2) когда он специально насыщается водой; 3) когда он вводится в воздушно-сухом состоянии, но после определенных циклов попеременного увлажнения и высушивания при условии хранения в открытом складе. Именно для этих характерных случаев были изготовлены образцы из керамзитобетона.

В результате обработки полученных данных можно высказать следующие рекомендации: 1) в общем случае, когда водосодержание бетонной смеси позволяет произвести нормальное уплотнение ее при укладке, заполнитель следует применять в воздушно-сухом состоянии; 2) в случае недостаточной удобоукладываемости рационально повышать ее за счет введения пластифицирующих добавок, а не проводить предварительное насыщение заполнителя для сохранения водоцементного отношения бетонной смеси; 3) влияние циклического воздействия увлажнения и высушивания при умеренном количестве, наблюдаемом в производстве, не может считаться отрицательным. Однако неконтролируемое остаточное водосодержание и, главное, возможность его неравномерности в отдельных зернах должны ориентировать нас на хранение пористых заполнителей на заводах по производству бетона в закрытых складах.

Для получения легких конструкционных бетонов не только высокой прочности, но и возможно меньшей деформативности особое значение приобретает кинетика твердения вяжущего, которая с учетом деформативных особенностей заполнителя должна характеризоваться такой скоростью нарастания прочности, которая превышает скорость нарастания усадочных деформаций и напряжений. Это общеизвестное положение для легких бетонов имеет первостепенное значение потому, что показанная многовариантность совместных деформаций пористого заполнителя и цементного камня дает в руки технолога возможность выбрать из числа многих вариантов лучший для данного заполнителя и требуемых свойств легкого бетона.

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

Кузнецов Юрий Сергеевич,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Технологии бетонов, керамики и
вяжущих»

Кувшинова Ольга Александровна,
старший преподаватель кафедры
«Прикладная математика и информатика»
E-mail: oly791702@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

Kuznetsov Yuriy Sergeevich,
Candidate of Science, Professor of the
department «Technology of concrete,
ceramics and knitting»

Kuvshinova Olga Aleksandrovna,
Senior lecturer of the department «The
applied mathematics and computer science»
E-mail:oly791702@rambler.ru

АДСОРБЦИОННОЕ ПОНИЖЕНИЕ ПРОЧНОСТИ МИНЕРАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Ю.С. Кузнецов, О.А. Кувшинова

В связи с масштабным внедрением нанотехнологий в различные отрасли промышленности, в том числе и в строительном комплексе, резко обострилась проблема тонкого измельчения сырьевых материалов.

В работе рассматриваются основы интенсификации производства тонкого измельчения сырьевых материалов за счет использования эффекта адсорбционного понижения прочности.

Ключевые слова: адсорбция, прочность, поверхностно-активные вещества, измельчение.

ADSORPTION LOWERING OF MINERALS DURABILITY IN THE PROCESS OF GRINDING

Yu.S. Kuznetsov, O.A. Kuvshinova

Due to scale introduction of nanotechnologies in various industries including a building complex, the problem of fine grinding of raw materials has become very urgent.

The article shows the basic ways how to intensify production of fine grinded raw materials using the effect of durability adsorption lowering.

Keywords: heat supply, adsorption, durability, surface-active substances, crushing.

Операция измельчения, применяемая со времен глубокой древности, не получила еще в наши дни научно обоснованного освещения, которое сделало бы ее наиболее экономичной. По данным ООН, до 75 % в ней производимой электроэнергии человечество тратит на диспергирование [1]. О важности этой проблемы можно судить хотя бы по затратам средств, расходуемых в настоящее время во всем мире на измельчение различных материалов.

Производство большинства строительных материалов также связано с процессом измельчения сырьевых материалов, одной из самых трудоемких и энергоемких технологических операций, роль которой чрезвычайно возросла с внедрением нанотехнологий в строительном комплексе [4].

Известно [2], что баланс энергии, затрачиваемой на измельчение материала, имеет свободную поверхностную энергию. По этому закону работа, расходуемая на измельчение материала, пропорциональна вновь образованной поверхности. Риттенгер исходил в основном из той концепции, что полезная работа измельчения полностью переходит в поверхностную энергию

$$A = K \Delta S . \quad (1)$$

Разрушение твердого тела всегда состоит в постепенном развитии новых поверхностей раздела с окружающей средой, и величина свободной поверхностной энергии в какой-то степени определяет работу разделения твердого тела на частичную работу диспергирования, как меру твердости.

Твердость измеряется работой образования новой поверхности измельчаемого тела $H_s = A/\Delta S$ или, в практических условиях, работой разрушения данного объема тела на отдельные части $H_v = A/\Delta V$. Естественно, что эти величины пропорциональны $H_v = S_1 H_s$, то есть коэффициент пропорциональности представляет собой удельную поверхность или дисперсность частиц. Твердость, определяемая энергетически как коэффициент пропорциональности между энергией, затрачиваемой на измельчение, и вновь образующейся поверхностью, характеризующей степень измельчения $A = H_s \Delta S$, совпадает по размерности с удельной поверхностной энергией твердого тела $H_s = A/\Delta S$, запасаемой в системе при увеличении на единицу поверхности S твердого тела с окружающей средой [3].

Твердость H_s во много раз превосходит поверхностную энергию, хотя для хрупких тел эти величины пропорциональны друг другу.

$$A = \delta \Delta S + q, \quad (2)$$

где величина $\delta \Delta S$ – работа, превращающаяся в свободную поверхностную энергию образовавшейся поверхности разрыва ΔS , а величина q – работа упругих и пластических деформаций в объеме тела ΔV . При достаточно высокой дисперсности, когда ΔV становится пропорциональным новой поверхности ΔS , это выражение переходит в закон Риттенгера

$$A = \left(\delta + K \frac{\Delta V}{\Delta S} \right) \Delta S = H_s \Delta S. \quad (3)$$

Как видно, работу диспергирования можно снизить за счет уменьшения свободной поверхностной энергии.

Из термодинамики известно, что положительная адсорбция вещества, введенного в окружающую среду, всегда сопровождается понижением свободной поверхностной энергии. Следовательно, твердость всегда понижается вследствие адсорбции из внешней среды на развивающихся внутренних поверхностях. При малой концентрации адсорбирующегося вещества в окружающей среде может быть положительная адсорбция. Следовательно, добавки могут вызвать только значительное снижение твердости.

Постепенное развитие во времени дефектов структуры под влиянием заданного напряженного состояния лежит в основе современных физических представлений о статической прочности. С точки зрения кинетики деформация и разрушение, а также само понятие «прочность» связаны с представлением о механизме адсорбционного понижения прочности.

Развитие дефектов, имеющих выход на поверхность деформируемого тела, облегчается, если в кинетическом процессе развития новой поверхности микротрещины она успевает покрыться адсорбционным слоем поверхностно-активных молекул в результате их двумерной миграции. (В этом случае работа развития дефекта может быть значительно понижена). Разрушение тела происходит при меньшем напряжении или за короткое время при данном напряжении. Таким образом, величина эффекта адсорбционного понижения прочности связана с тем, в какой мере адсорбционные слои успевают проникать из окружающей среды в микротрещины. Поэтому с возрастанием размеров адсорбирующихся молекул, когда их поверхностная активность продолжает увеличиваться, адсорбционное понижение прочности исчезает.

Проникновение добавок происходит не только в микротрещинах, но и в зонах предразрушения, которые развиваются в области упругих и пластических деформаций.

При снятии внешних усилий микротрещины способны к смыканию под действием молекулярных сил сцепления. Происходит вытеснение проникших в микротрещины адсорбционных пленок и восстановление первоначальных механических свойств твердого тела.

В присутствии добавок зона предразрушения развивается, количество трещин возрастает, микротрещины становятся глубже, а их число в единице объема увеличивается.

Немаловажную роль в процессе диспергирования играет расклинивающее действие тонких слоев жидкости [3]. Расклинивающее давление проявляется в случае предельно слабых связей между поверхностями частиц твердого тела. Оно препятствует коагуляционному сцеплению частиц. Эффект адсорбционного понижения прочности особенно значителен при тонком диспергировании. Известно, что по мере повышения дисперсности работа измельчения возрастает даже при расчете на единицу вновь образуемой поверхности. Это связано с повышением прочности частиц малых размеров.

На основании исследований в области различных видов тонкого измельчения, как в шаровых, так и в струйных, и особенно в вибрационных мельницах принято считать, что весьма тонкое измельчение твердых тел в отсутствие адсорбционно-активной среды нецелесообразно. Это справедливо как при мокром помоле, так и в условиях сухого измельчения.

Эффект адсорбционного понижения прочности целесообразно использовать не только при тонком измельчении, но и при грубом дроблении природных минеральных материалов. Наличие массы дефектов структуры, участков различной прочности, большое количество микротрещин – необходимое условие проявления эффекта адсорбционного понижения прочности.

В качестве интенсификаторов помола могут использоваться не только традиционные поверхностно-активные вещества (ПАВ), но и отходы целого ряда производства. В качестве ПАВ могут использоваться побочные продукты от производства антибиотиков, так называемые отработанные нативные растворы (ОНР).

В процессе биологического синтеза антибиотиков, их очистки и отделения от жидких побочных продуктов присутствуют типичные комбинированные системы, в молекулах которых находятся как неполярные углеводородные цепи, так и полярные группировки (-COOH, -OH, -NH).

В качестве модели измельчения материала был выбран кварц, как самый распространенный в природе минерал, представляющий собой диоксид кремния (SiO₂). Кремний является третьим (после кислорода и водорода) распространенным элементом: на его долю приходится 16,7 % от общего числа атомов земной коры. Если углерод можно рассматривать как основной элемент для всей органической жизни, то кремний играет подобную же роль по отношению к твердой земной коре, так как главная часть ее массы состоит из силикатных пород. Двоокись кремния служит исходным сырьем для получения всех остальных соединений кремния.

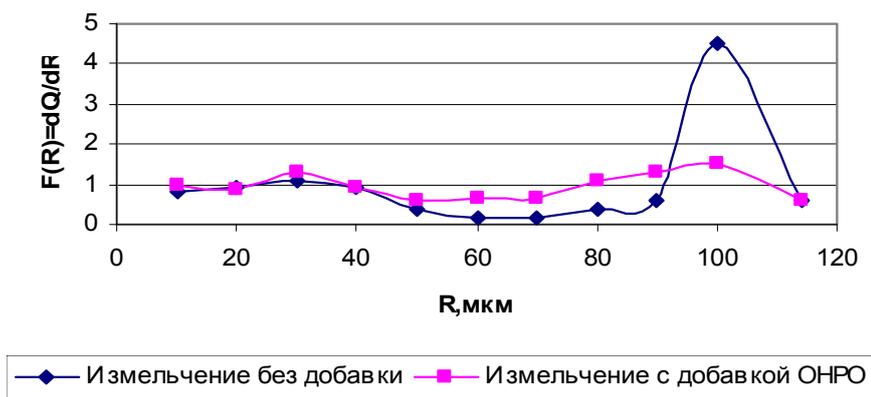
Исследовался процесс измельчения Сурского кварцевого песка. Адсорбционное понижение прочности изучалось с добавкой отработанного нативного раствора олеандомина (ОНРО).

В таблице приводятся данные анализа дисперсности SiO₂ на фотоседиментографе.

Фракционный состав измельченного кварцевого песка.

Размеры частиц, мкм	Содержание фракций, %	
	измельчение в водной среде	измельчение в растворе ОНРО
110–100	45	15,5
100–90	6	13,5
90–80	4	11
80–70	1,5	6,5
70–60	1,5	6,5
60–50	4	6
50–40	9,5	9,5
40–30	11	13
30–20	9,5	8,5
20–10	8	10

На рисунке представлены экспериментальные данные в виде дифференциальных кривых распределения частиц по фракциям.



Дифференциальные кривые распределения частиц по фракциям

На кривых видно, что в продуктах помола обнаруживаются два максимума, приходящихся на размер частиц в интервале 90–110 мкм и на частицах 10–50 мкм. Введение добавки ОНРО в качестве интенсификатора процесса измельчения снижает количество крупных частиц кварца в интервале 90–110 мкм почти в три раза. Возрастает содержание более мелких частиц в интервале от 45 до 95 мкм. Учитывая резкое снижение количества крупных частиц в продуктах помола, добавку ОНРО следует считать эффективным интенсификатором помола кварцевого песка.

Приведенная методика позволяет обнаружить наиболее эффективные добавки и их оптимальные концентрации как при индивидуальном применении, так и в композиционных смесях.

Список литературы

1. Роже Гийо. Проблема измельчения материалов и ее развитие / Роже Гийо. – М.: Стройиздат, 1964.
2. Кузнецов, Ю.С. Эффект адсорбционного понижения прочности при грубом измельчении брекчвидных горных пород / Ю.С. Кузнецов, П.Р. Таубе // Коллоидный журнал. – 1969. – №1.
3. Дерягин, Б.В. Исследование в области поверхностных сил / Б.В. Дерягин. – М.: Наука, 1964.
4. Кузьмина, В.П. Нанодобавки для композиционных материалов / В.П. Кузьмина // Nanobuild. Научный Интернет-журнал. – 2011. – №3. – С.74.

References

1. Rozhe Gijo. Problem of crushing of materials and its development / Rozhe Gijo. – M.: Strojizdat, 1964.
2. Kuznetsov, Yu.S. Effect adsorption durability falls at rough crushing brekchevidnykh rocks / Yu.S. Kuznetsov, P.R. Taube // Colloid magazine. – M., 1969. – №1.
3. Deriygin, B.V. Research in the field of superficial forces / B.V. Deriygin. – M.: Nauka, 1964.
4. Kuzmina, V.P. Nanodobavki for composition materials / V.P. Kuzmina // Nanobuild. Scientific internet-magazine. – 2011. – №3. – С.74.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Вернигорова Вера Никифоровна,
доктор химических наук, профессор
кафедры «Строительные материалы»

Саденко Сергей Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные материалы»

Ульянов Дмитрий Владиславович,
аспирант кафедры «Строительные
материалы»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Vernigorova Vera Nikiforovna,
Doctor of Science in Chemistry, Professor
of the department «Building materials»

Sadenko Sergey Mikhailovich,
Candidate of Sciences, Professor
of the department «Building materials»

Uljanow Dmitry Vladimirovich,
Post-graduate of the department «Building
materials»

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССА ДИССОЦИАЦИИ МОЛЕКУЛ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНЕЗЁМА

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

Статья посвящена термодинамическому обоснованию необратимой реакции диссоциации молекул воды на поверхности частиц кремнезёма. Условием самопроизвольного протекания этой реакции является равенство по величине и по знаку изобарно-изотермического потенциала и изобарного теплового эффекта.

Ключевые слова: диссоциация воды, кремнезём, изобарно-изотермический потенциал, изобарный тепловой эффект, полезная работа реакции, тепловое рассеивание.

THERMODYNAMIC CONDITIONS OF SPONTANEOUS WATER MOLEKULARS DISSOCIATION ON SILICA SURFACE

V.N. Vernigorova, S.M. Sadenko, D.V. Uljanow

The article is devoted to thermodynamic analysis of irreversible reaction of water molecular dissociation on the silica particles surface. Condition to the spontaneous reaction is equal value and sign of Gibb thermal potential and isobar thermal effect.

Keywords: water dissociation, silica, gibb thermal potential, isobar thermal effect, useful reaction work, thermal dispersion.

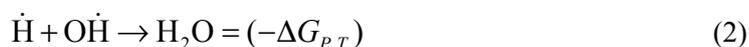
Основной реакцией, приводящей к схватыванию и твердению бетонной смеси, является реакция взаимодействия минералов портландцемента с водой. При замешивании портландцемента с водой происходит гидролиз его минералов с выделением $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кремнезёма SiO_2 . Кроме того, в бетонную смесь вводят микрокремнезём и другие активные кремнезёмсодержащие добавки. Любой физико-химический процесс имеет термодинамическое обоснование и протекает при определенных термодинамических условиях. В статье рассматриваются термодинамические условия самопроизвольного протекания процесса диссоциации воды на активных центрах частиц кремнезёма.

Взаимодействию воды с минералами предшествует процесс диссоциации воды на активные частицы H^+ и OH^- , свободный атом $\dot{\text{H}}$ и свободный радикал $\text{OH}\dot{\text{H}}$ на атомах кремния, имеющих заряд +4. Самопроизвольность протекания реакции диссоциации молекул воды на активные частицы в благоприятных кинетических условиях

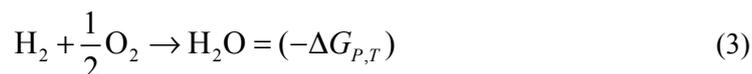
зависит только от термодинамических условий. Эти условия при $P, T = \text{const}$ определяются уменьшением изобарно-изотермического потенциала, являющегося мерой химического сродства, и совпадением изобарного теплового эффекта этой реакции – $\Delta H_{P,T}$ по знаку с термодинамическим потенциалом – $\Delta G_{P,T}$, то есть возможной экзотермичностью процесса. Такое совпадение наблюдается только для сильно экзотермичных реакций, обладающих большим термодинамическим потенциалом. Экзотермичность реакции может рассматриваться как надежный признак самопроизвольности ее протекания и пригодности в качестве базисной, основной реакции – как источника энергии в системе. Условия самопроизвольности протекания реакции диссоциации воды можно записать:

$$-\Delta G_{P,T} = -\Delta H_{P,T} + (T \cdot \Delta S)_{P,T}, \quad (1)$$

где $\Delta G_{P,T}$ – изобарно-изотермический потенциал; $\Delta H_{P,T}$ – изобарно-изотермический тепловой эффект; $(T \cdot \Delta S)_{P,T}$ – связанная энергия, равная теплоте, затрачиваемой на поддержание постоянства условий $P, T = \text{const}$ и обмениваемая с окружающей средой. Наряду с реакцией диссоциации идет реакция рекомбинации ее молекул:



Эту реакцию можно записать и так:



Реакции (2) и (3) отличаются энергией активации. Для реакции (3) при $T = 298 \text{ K}$ и $P = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$ стандартный изобарно-изотермический потенциал $\Delta G_{P,T} = -228,37 \text{ кДж/моль}$, а стандартный тепловой эффект $\Delta H_{298}^0 = -241,59 \text{ кДж/моль}$. Из этого следует, что изобарно-изотермический потенциал этой реакции составляет 95 % от ее теплового эффекта. Поскольку для реакции (3) $\Delta G_{P,T}$ и $\Delta H_{P,T}^0$ близки по величине и знаку и реакция эта протекает с небольшим увеличением энтропии, постольку работа, производимая этой реакцией, будет максимальной. Для этой реакции выполняется принцип максимальной работы Бертелло. С этих позиций ни одно вещество в природе не может сравниться с водой по возможности его участия в самопроизвольной экзотермической рабочей реакции.

Именно благодаря полезной работе, совершаемой реакцией диссоциации молекул воды на активные частицы $\dot{\text{H}}$ и OH , протекают энергетически сопряженные с ней процессы, поглощающие энергию. Полезная работа, совершаемая этой реакцией, является немеханической работой, направленной на упорядоченное превращение химической энергии этой реакции в другие виды химической энергии и на передачу такой энергии на любые процессы, связанные с существованием и развитием системы, содержащей кремнезём.

Диссоциация молекул воды требует затрат энергии, равных $485,88 \text{ кДж/моль}$, что на 25 кДж/моль больше среднего значения энергии связи $\text{O} - \text{H}$ в воде. Поэтому при реакции рекомбинации получается выигрыш энергии, равный $\sim 25 \text{ кДж/моль}$.

Математическая формулировка II начала термодинамики имеет вид:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}, \quad (4)$$

Знак равенства относится к равновесным процессам, а знак $>$ характеризует самопроизвольный необратимый процесс.

Клаузиус предложил иную форму II начала термодинамики:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta Q'}{T}, \quad (5)$$

где $\delta Q'$ – некомпенсированное тепло. Это то тепло, которое было бы поглощено при равновесном процессе дополнительно к неравновесному количеству δQ с тем, чтобы восстановить равенство (4), $\delta Q'$ всегда положительно и возникает вследствие неравновесных процессов внутри системы, ведущих к ее необратимому изменению¹. Поэтому 25 кДж/моль есть некомпенсированное тепло δQ вследствие необратимости реакции диссоциации воды.

Энергия, освобождаемая при протекании реакции разложения воды на активные частицы, превращается в полезную работу $A_{\text{пол}}$ и из-за необратимости процесса переходит в теплоту Q , выделяемую из системы «вода – кремнезём» в окружающую среду. Распределение энергии, освобождаемой в результате базисной реакции между полезной работой и бесполезно рассеиваемой теплотой, можно выразить уравнением:

$$\Delta G_{p,T} = A_{\text{пол}} + Q \quad (6)$$

в расчете на 1 моль.

Полезная работа реакции $A_{\text{пол}}$ и тепловое рассеяние Q не являются термодинамическими свойствами системы и зависят от пути процессов и механизма их протекания. Но сумма $A_{\text{пол}}$ и Q в любом случае равна $-\Delta G_{p,T}$. Распределение освобождаемой при протекании базисной реакции химической энергии между $A_{\text{пол}}$ и Q является характерным для каждого пути процесса и может принимать любые значения, лежащие в пределах

$$\Delta G_{p,T} < 0. \quad (7)$$

Выводы

Реакция взаимодействия воды с кремнезёмом бетонной смеси является основной, базисной, так как для этой реакции изобарно-изотермический потенциал $\Delta G_{p,T}$ и изобарный тепловой эффект совпадают по величине и знаку. Эта реакция, являющаяся источником энергии в бетонной смеси, идет на поддержание сопряженных с ней химических процессов, поглощающих энергию. Термодинамически эта реакция необратима. Закономерности распределения освобождаемой при протекании необратимой реакции диссоциации воды не являются объектом исследования классической равновесной термодинамики, так как она не рассматривает механизм процессов, а только конечный результат.

¹ Гленддорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973. 385 с.

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 «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
E-mail: loganin@mai.ru

Симонов Евгений Евгеньевич,
аспирант кафедры «Стандартизация,
сертификация и аудит качества»
Тел.: 8412929478
E-mail: simonov888@list.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Standardization,
certification and quality audit »
E-mail: loganin@mai.ru

Simonov Evgeny Evgen'evich,
Postgraduate of the department
«Standardization, Certification and Quality
Auditing»
Tel.: 8412929478
E-mail: simonov888@list.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗВЕСТКОВЫХ КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИАТОМИТА*

В.И. Логанина, Е.Е. Симонов

Приведены сведения о закономерностях формирования структуры известковых композитов с применением диатомита, модифицированного золью кремниевой кислоты. Показано, что применение модифицированного диатомита приводит к повышению действия релаксирующих добавок.

Ключевые слова: диатомит, модификация, известковый композит, структура

REGULARITIES OF STRUCTURE AND PROPERTIES FORMATION OF LIME COMPOSITES WITH THE USE OF MODIFIED DIATOMITE

V.I. Loganina, E.E. Simonov

Information about the patterns of structure formation of calcareous diatomite composites with modified silica sol is given. It is shown that the use of modified diatomite leads to an increase of redispersible additives action.

Keywords: diatomite, modification, lime composite structure

Ранее было показана эффективность применения в известковых сухих строительных смесях (ССС) диатомита [1]. В продолжение дальнейших исследований при разработке рецептуры ССС для повышения когезионной и адгезионной прочности покрытий в состав вводились добавки Neolith 4400, Neolith 7200, Pulver.

В работе применяли диатомит Инзенского месторождения с содержанием кремнезёма 85,81%. Для модификации диатомита применяли золь кремниевой кислоты, при этом содержание SiO_2 в модифицированном диатомите увеличилось и составило 89,29% [2]. В качестве вяжущего применяли известь-пушонку 2-го сорта с активностью 84%, в качестве мелкого заполнителя – сурский кварцевый песок фракций 0,63–0,315 мм и 0,315–0,14 мм в соотношении 80:20. Плотность песка

* Работа выполнялась в рамках госконтракта с Министерством образования и науки РФ № 13.G25.31.0092.

составляла $\rho_{\text{нас}}=1527$ кг/м³. Предварительно было установлено оптимальное соотношение известь (И):диатомит(Д), составляющее И:Д=1:4. Для регулирования процесса структурообразования известково-диатомитовых композитов и повышения физико-технических свойств в состав смеси вводили цемент в количестве 10 % от массы извести. Для подбора дозировок добавок применяли следующий состав: И:Ц:Д:П=1:0,1:4:2,55 при В/И = 6,0. Образцы твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20 °С и относительной влажности воздуха 60–70 %. В качестве контрольного принят состав, приготовленный на немодифицированном диатомите.

В табл.1 приведены значения прочности известково-диатомитовых композитов.

Т а б л и ц а 1

Прочность известковых композитов

Состав	Вид добавки	Содержание добавки, %, от массы сухой смеси	Прочность при сжатии, МПа		
			возраст, сут.		
			7	14	28
Контрольный	-	-	1,3	1,5	1,8
-//-	Neolith 4400	0,025	0,96	1,32	1,76
-//-	то же	0,05	0,96	1,44	1,8
-//-	то же	0,15	1,2	1,5	2
-//-	то же	0,35	1,44	1,68	2,24
-//-	то же	0,5	1,68	1,92	2,48
-//-	то же	0,75	1,92	2,04	2,78
-//-	то же	1	1,9	2,16	2,8
-//-	Neolith 7200	0,025	1,68	1,75	2,42
-//-	то же	0,05	1,7	1,8	2,5
-//-	то же	0,15	1,8	1,9	2,6
-//-	то же	0,35	2,04	2,16	2,84
-//-	то же	0,5	2,16	2,26	2,98
-//-	то же	0,75	2,28	2,38	3,1
-//-	то же	1	2,3	2,4	3,12
-//-	Pulver DM1142P	0,05	0,96	1,4	1,78
-//-	Pulver DM1142P	0,5	1,32	1,6	2,12
Состав с применением модифицированного диатомита	-	-	2,12	2,32	2,76
-//-	Neolith 4400	0,5	2,2	2,96	3,1

Анализ экспериментальных данных, приведенных в табл. 1, свидетельствует, что при низких дозировках добавок Pulver DM1142P, Neolith 4400, составляющих до 0,05 %, наблюдается в раннем возрасте (до 7 сут) некоторое понижение прочности при сжатии. При дозировке добавки Pulver DM1142P 0,5 % от массы сухой смеси, прочность при сжатии в возрасте 28 сут увеличивается на 17,7 %, а при дозировке добавки Neolith 4400 0,5 % – на 37,7 %.

Наиболее эффективной по своему действию является добавка Neolith 7200, обеспечивающая при дозировке 0,05 % прирост прочности на 38,8 %.

Применение в рецептуре ССС модифицированного диатомита приводит к усилению действия добавок. Так, при использовании добавки Neolith 4400 в составах с

использованием модифицированного диатомита прирост прочности известково-диатомового композита в возрасте 28 сут составляет 72,2 %.

Модификация диатомита золев кремниевой кислоты способствует повышению его гидравлической активности. Так, активность немодифицированного диатомита, определенная по величине растворимости в 20 %-м растворе KOH, составляет 370 мг/г, а активность модифицированного диатомита 400 мг/г [2]. Более высокая гидравлическая активность модифицированного диатомита способствует увеличению количества связанной извести в известковом композите. Уже в возрасте 7 сут твердения количество химически связанной извести составляет 45,76 %, а в контрольном составе – 31,74 %, в возрасте 28 сут соответственно 48,5 % и 34,5 %.

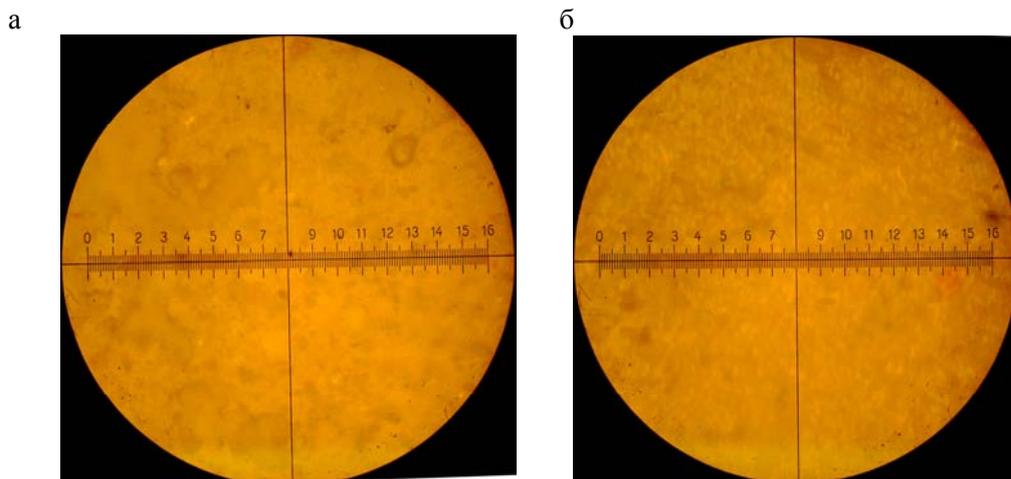


Рис.1. Структура известково-диатомового композита x200:
а – контрольный состав; б – состав на модифицированном золев диатомите

Полученные данные РФА и ДТА, а также оптической микроскопии свидетельствуют о формировании более прочной структуры известкового композита на основе активированного кремнезоль диатомита. Структура известково-диатомового образца является более однородной (рис.1,б) с равномерно распределенными порами.

Для оценки пористой структуры композита определяли объем открытых пор. Установлено, что содержание открытых пор в известково-диатомовом композите с использованием модифицированного диатомита составляет 49,9 %, в то время как с применением немодифицированного диатомита – 52,1 %.

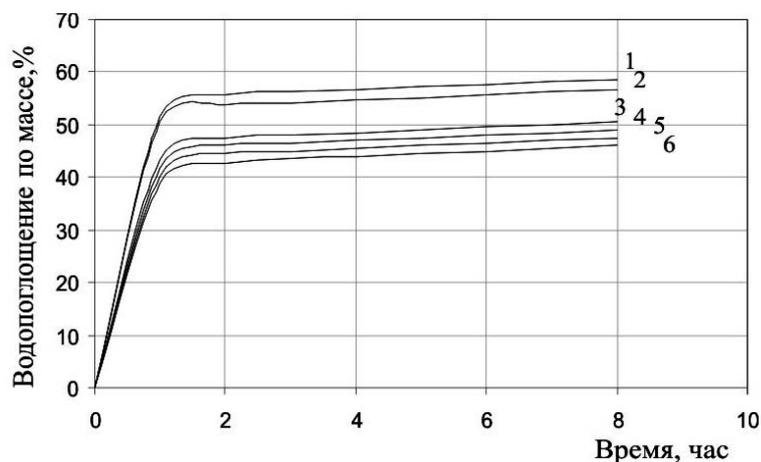


Рис .2. Кинетика водопоглощения:
1 – контрольный состав; 2 – состав с применением модифицированного диатомита;
3 – контрольный состав с добавкой Neolith 7200; 4 – состав с применением модифицированного диатомита и добавкой Neolith 7200; 5 – контрольный состав с добавкой Neolith 4400; 6 – состав с применением модифицированного диатомита и добавкой Neolith 4400

Высокая пористость известковых композитов предопределяет значительное их водопоглощение (рис.2). Водопоглощение композитов с применением модифицированного диатомита составляет 57 %, а немодифицированного – 58,7 %. Введение в рецептуру добавок Neolith 7200 и Neolith 4400 в количестве соответственно 0,05 и 0,5 % от массы сухих веществ приводит к снижению водопоглощения соответственно до 50 и 47 %. Применение добавок Neolith 7200 и Neolith 4400 в рецептуре с модифицированным диатомитом приводит к большему снижению водопоглощения, составляющему соответственно 49 и 46 %.

В табл.2 приведены значения коэффициента капиллярного водопоглощения, определенного в соответствии с DIN 52617.

Т а б л и ц а 2

Значения водопоглощения при капиллярном всасывании (DIN 52617)

Состав	Коэффициент водопоглощения, кг/(м ² ч ^{0,5})
Контрольный состав	0,95
Состав с применением модифицированного диатомита	0,93
Контрольный состав с добавкой Neolith 7200	0,94
Состав с применением модифицированного диатомита и добавкой Neolith 7200	0,92
Контрольный состав с добавкой Neolith 4400	0,928
Состав с применением модифицированного диатомита и добавкой Neolith 4400	0,908

Результаты испытания свидетельствуют, что коэффициент капиллярного водопоглощения известково-диатомитовых составов на основе модифицированного диатомита ниже, чем у составов с использованием немодифицированного диатомита. Применение в составах добавок способствует уменьшению коэффициента водопоглощения до 0,908–0,92 кг/(м² ч^{0,5}). В соответствии с DIN 52617 составы ССС на основе модифицированного диатомита являются водоудерживающими.

Разработанные составы ССС предлагается применять для реставрации зданий исторической застройки, а также отделки вновь возводимых объектов.

Список литературы

1. Логанина, В.И. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 3. – С.20–24.
2. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства): учебник для вузов / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1979.

References

1. Loganina, V.I. Activation effect of calcareous diatomite compositions properties / V.I. Loganina, O.A. Davydov, E.E. Simon // Trans. Construction. – 2011. – № 3. – P.20-24.
2. Volzhensky, A.V. Mineral binders (technology and properties): The textbook for high schools. / A.V. Volzhensky, Y.S. Burov, V.S. Kolokolnikov. – 3-rd ed., revised. and dop. – M.: Stroizdat, 1979.

Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева

Россия, 430005 г. Саранск,
ул. Большевикская, 68
тел.: 8(8342)48-25-68

Губанов Дмитрий Александрович,
аспирант архитектурно-строительного
факультета
E-mail: Gubanovda@mail.ru

Mordovian State Ogarev University

Russia, 430005, Saransk, 68, Bolshevistskaya St.,
tel.: 8(8342)48-25-68

Gubanov Dmitry Aleksandrovich,
Postgraduate of the Architectural and Civil
Engineering Department
E-mail: Gubanovda@mail.ru

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ

Д.А. Губанов

Предлагается решение проблемы утилизации отходов производства металлополимерных композиционных труб путем их использования в качестве крупного заполнителя для цементных бетонов. Проведена оптимизация гранулометрического состава композитов по показателям прочности. Предложены способы упрочнения контактов между полиэтиленовой зоной отхода и матричной составляющей. Полученные высокие прочностные показатели композитов позволяют сделать вывод о целесообразности предложенного способа утилизации.

Ключевые слова: металлополимерные трубы, оптимизация состава, симплекс-решетчатый план Шеффе, контактная зона, адгезионная прочность.

CONSTRUCTION COMPOSITES ON THE BASIS ON METAL WATER PIPES PRODUCTION WASTES

D.A. Gubanov

The author proposes how to recycle wastes from polymer metal composite pipes production as coarse aggregate for cement concrete. Optimization of grain size composite content is done according to the strength indicator. Some ways of strengthening the contacts between the wastes plastic zone and the matrix component are offered. The resulting high strength composite indicators tells us about the efficiency of the proposed method of recycling.

Keywords: metal-pipe, optimization of the composition, simplex-grid plan Scheffe, contact area, adhesion strength.

Металлополимерные трубы относятся к эффективным трубопроводным материалам, обладающим улучшенными эксплуатационными характеристиками. Прежде всего их отличает высокая долговечность в условиях воздействия коррозионных сред, а также они не конденсируют влагу, химически нейтральные, в них не накапливаются различные отложения, что способствует их широкой сфере применения. Металлополимерные трубы используют в тепло- и водоснабжении, радиаторном и напольном отоплении строящихся и реконструируемых зданий. В связи с этим производство металлополимерных композитных труб неуклонно растет [1].

В то же время следует отметить, что на предприятиях по производству труб ежегодно образуются десятки тысяч метров отходов. Отходы на производстве образуются при пуске автоматизированной линии, герметизации труб, в результате проведения некоторых видов технического обслуживания автоматизированной линии, аварийных ситуаций, остановки автоматизированной линии, перевода автоматизированной линии

для производства композиционной трубы другого типоразмера, отклонений технологических параметров в процессе работы автоматизированной линии. Отходы, образующиеся при производстве труб, представляют собой в основном обрезки труб от 0,1 до 0,7 м. Вторичная переработка данного вида отходов является трудоемкой из-за наличия в массе полимера алюминиевой фольги, а также многокомпонентности самого полимера, содержащего кроме полиэтилена большое количество различных добавок. Поэтому остро стоит вопрос о рациональном использовании отходов производства труб. Вариантом использования отходов трубопроводных материалов является их использование в качестве заполнителей бетонов. К настоящему времени разработаны составы бетонов с заполнителями на основе боя стекла, шлаков и др. [2].

Нами проведены исследования по разработке оптимальных составов и технологии получения композитов с применением в качестве заполнителя отходов металлополимерных труб. Оптимизация составов композиционных материалов с отходами труб в качестве крупного заполнителя осуществлялась при помощи симплекс-решетчатого плана Шеффе [3]. В качестве варьируемых факторов рассматривались размеры фракций фрагментов труб: 1-2 мм – X_1 , 3-5 мм – X_2 , 8-10 мм – X_3 . Количество каждой фракции фрагментов труб было принято за контролируруемую переменную, содержание остальных компонентов было зафиксировано постоянным: портландцемент – 20,8 %, песок – 62,5 %, вода – 12,5 %. Для испытаний были приготовлены образцы 40×40×160 мм. После распалубки образцы подвергались прогреву при температуре 220 °С в течение 1 часа. При нагревании образцов до температуры плавления полиэтилена, последний, расплавляясь, заполняет поры контактной зоны матрицы. При остывании полиэтилена образуется улучшенный контакт с растворной составляющей, по сравнению с традиционными заполнителями. Испытания проводились на образцах в возрасте 28 сут. Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Матрица планирования и результаты эксперимента

№ п/п	Кодированные значения факторов			Натуральные значения факторов (содержание фрагментов труб по массе, %)			Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	Прочность при изгибе $R_{изг}$, МПа
	X_1	X_2	X_3	1-2 мм	3-5 мм	8-10 мм		
1	100	0	0	4,2	0	0	21,2	3,2
2	0	100	0	0	4,2	0	20,0	3,0
3	0	0	100	0	0	4,2	16,3	1,9
4	33	67	0	1,4	2,8	0	25,2	4,2
5	33	0	67	1,4	0	2,8	19,7	2,9
6	0	33	67	0	1,4	2,8	18,7	2,2
7	67	33	0	2,8	1,4	0	23,1	3,7
8	67	0	33	2,8	0	1,4	19,8	2,9
9	0	67	33	0	2,8	1,4	21,7	3,3
10	33,3	33,3	33,3	1,4	1,4	1,4	22,1	3,5

Статистическая обработка результатов эксперимента позволила выявить зависимости, характеризующие изменение прочности при сжатии и изгибе композитов от размеров фрагментов труб. Получены следующие уравнения регрессии:

$$R_{сж}(X_1; X_2; X_3) = 21,2X_1 + 20X_2 + 16,3X_3 + 15,975X_1X_2 + 4,5X_1X_3 + 9,225X_2X_3 - 16,875X_1X_2(X_1 - X_2) - 10,35X_1X_3(X_1 - X_3) + 11,925X_2X_3(X_2 - X_3) + 9,897X_1X_2X_3;$$

$$R_{изг}(X_1; X_2; X_3) = 3,2X_1 + 3X_2 + 1,9X_3 + 3,825X_1X_2 + 1,575X_1X_3 + 1,35X_2X_3 - 3,825X_1X_2(X_1 - X_2) - 2,925X_1X_3(X_1 - X_3) + 4,95X_2X_3(X_2 - X_3) + 1,35X_1X_2X_3.$$

Графические зависимости изменения прочности при сжатии и прочности при изгибе композитов от размеров фрагментов труб приведены на рис. 1 и 2.

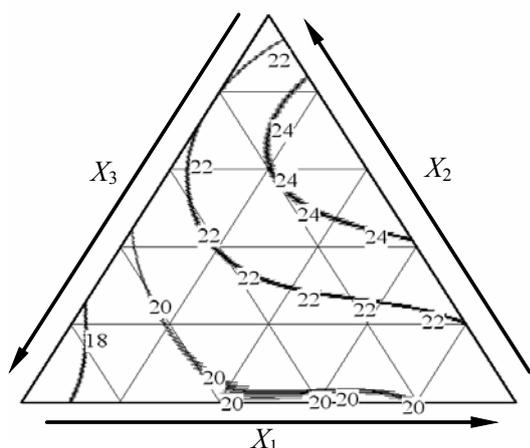


Рис. 1. Зависимость изменения прочности при сжатии композитов от размеров фрагментов труб

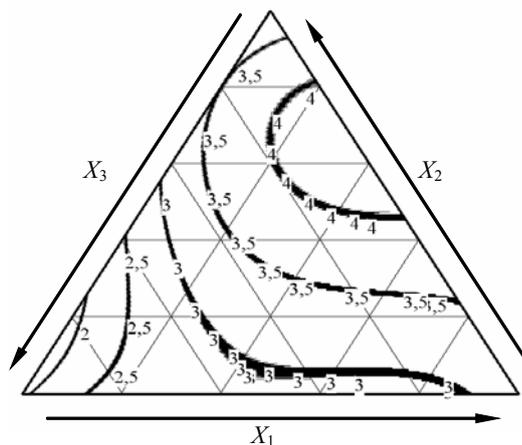


Рис. 2. Зависимость изменения прочности при изгибе композитов от размеров фрагментов труб

На рисунках хорошо видна зона оптимальных прочностных показателей, соответствующая составам с преобладанием фрагментов труб размером 3–5 мм. Увеличение содержания крупных (8–10 мм) фрагментов более предельного количественного содержания приводит к снижению прочности при изгибе и сжатии.

Прочность композиционного материала определяется суммарной прочностью контактов заполнителя со связующей матрицей. В то же время полиэтиленовая поверхность металлопластиковых труб обладает недостаточной адгезией по отношению к большинству применяемых связующих. Увеличение адгезирующих свойств отхода позволило бы существенно упорядочить структуру создаваемых композиционных материалов. Для увеличения показателя адгезии нами предлагается механически обрабатывать поверхность для придания шероховатости. На рис. 3 слева обычная гладкая поверхность, справа обработанная при помощи резбонарезного инструмента. Для измерения адгезии была использована схема испытания, приведенная на рис. 4. Фрагменты труб вводились в различные матрицы, после отвердевания которых к выступающему из них фрагменту прикладывалась нагрузка для сдвига трубы относительно матрицы. Значение предельной нагрузки, отнесенное к площади соприкосновения матрицы и фрагмента трубы, было принято в качестве показателя, характеризующего адгезию. После изготовления образцы твердели 24 ч на воздухе, затем часть из них подвергалась температурной обработке (1 час при 220 °С), испытания проходили через 7 сут с момента изготовления. Составы матриц приведены в табл. 2. Результаты эксперимента показаны на рис. 5.



Рис. 3. Обычная и модифицированная поверхность труб

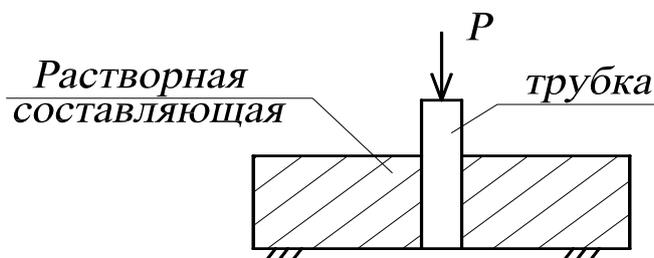


Рис. 4. Схема испытания при определении адгезионной прочности

Составы матриц для определения адгезирующих свойств

Компоненты	Содержание массовых частей в составах		
	1	2	3
Портландцемент	1	1	1
Песок	3	3	3
Вода	0,6	0,5	0,2
Эпоксидная смола	-	0,2	-
Поливинилацетатная эмульсия	-	-	0,5

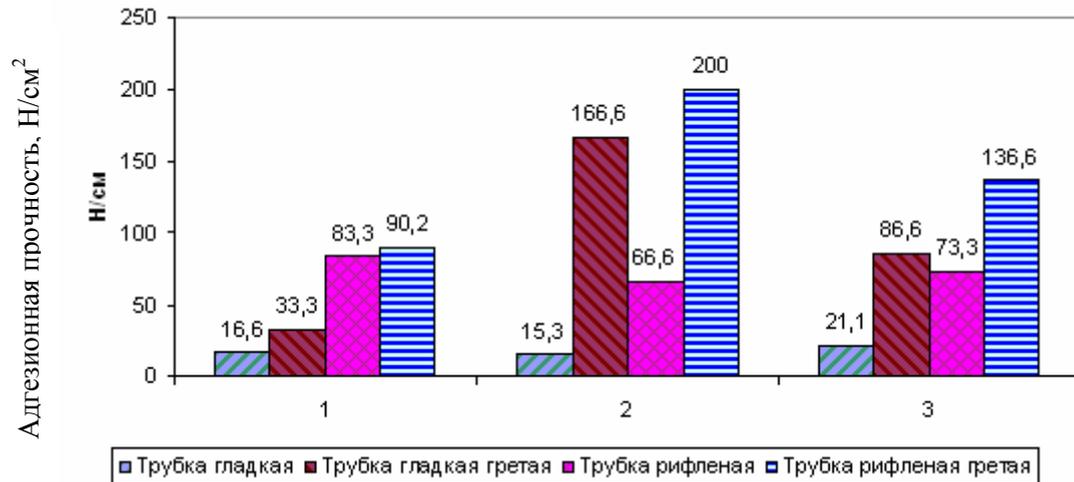


Рис.5. Результаты эксперимента

Как видно из рисунка, при механическом воздействии на наружный полиэтиленовый слой труб удается повысить показатель адгезии по отношению к цементной и полимерцементной матрицам в 3–5 раз. Прогрев, приводящий к подплавлению полиэтилена и частичному заполнению пор матрицы в контактной зоне, также позволяет значительно улучшить исследуемое свойство.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработана технология получения строительных композитов и оптимизированы их составы, наполненные отходами металлополимерных труб.

Список литературы

1. Современные строительные материалы и товары: справочник. – М.: Эксмо, 2007. – 576 с.
2. Строительные материалы на основе отходов стекла / В.Т. Ерофеев, Ю.М. Баженов, А. Д. Богатов [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – 120 с.
3. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

References

1. Modern building materials and products. Spravochnik. – M: AST, 2007. – 576 p.
2. Building materials from waste glass / VT Erofeev, M. Bazhenov, AD Bogatov [and ets.]. – Saransk: Publishing House of the muzzle. Press, 2005. – 120 p.
3. Krasovskiy, G.I. Experimental Design / G.I. Krasovskiy, G.F. Filaretov. – Minsk: Publishing House of the Belarusian State University, 1982. – 302 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624.042

Саратовский государственный технический университет

Россия, 410054, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77,
тел: 8-(845)-2 – 99-89-05

Овчинников Илья Игоревич,

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Транспортное строительство»

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Мигунов Виктор Николаевич,

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Городское строительство
и архитектура»

Скачков Юрий Петрович,

доктор технических наук, профессор,
ректор Пензенского государственного
университета архитектуры и строительства

Saratov State Technical University

Russia, 410054, Saratov,
77, Polytechnique St.,
tel: 8-(845)-2 – 99-89-05

Ovchinnikov Iliya Igorevich,

Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Transport Construction»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Migunov Viktor Nikolaevich,

Candidate Science, Associate Professor of
the department «Urban Construction and
Architecture»

Skachkov Yuri Petrovich,

Doctor of Science, Professor, Rector of Penza
State University of Architecture and
Construction

МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА И ПОЛИМЕРБЕТОНА ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

И.И. Овчинников, В.Н. Мигунов, Ю.П. Скачков

Приведена модель деформирования материалов, пригодная для описания процесса деформирования в агрессивной среде с учетом ползучести. Представлена разработанная методика идентификации, с использованием которой определены значения коэффициентов модели для ряда материалов. Отмечены характерные особенности модели, и прежде всего её устойчивость по отношению к колебанию параметров, определенных по экспериментальным данным.

Ключевые слова: полимербетон, ползучесть, моделирование, агрессивная среда, устойчивость модели,

THE MODEL OF CONCRETE AND POLYMER CONCRETE DEFORMATION DURING CREEP IN CORROSIVE ENVIRONMENT

I.I. Ovchinnikov, V.N. Migunov, Yu.P. Skachkov

The model of materials deformation suitable for describing the deformation process in aggressive environment taking creep into account is offered. The authors present a method of identification, by which the values of the model coefficients for a number of materials are determined. They mark some characteristic features of the model and particularly its stability to vibration determined by experimental data.

Keywords: polymer concrete, creep, modeling, aggressive environment, stability of the model.

Введение. На сегодняшний день различными исследователями предложено значительное количество зависимостей, описывающих процесс ползучести металлов, бетонов, полимеров. Однако большинство моделей ползучести не отражает процессы, происходящие в материале конструкции под воздействием агрессивной среды. Анализ экспериментальных данных по учету воздействия различных агрессивных сред на характер напряженно-деформированного состояния композитных элементов показывает, что по мере проникания агрессивной среды в бетон (полимербетон) и взаимодействия ее с цементным камнем или полимером происходит изменение механических характеристик, в том числе и параметров ползучести. Экспериментальные данные свидетельствуют об ускорении процессов ползучести при увеличении нагрузки и концентрации среды. Физически активная среда, действуя на композит, изменяет его свойства по мере проникания в объем конструктивного элемента; поэтому его свойства зависят от достигнутого уровня концентрации среды. При этом характеристики этих свойств можно рассматривать как функции от концентрации, причем в качестве аппроксимирующих функций могут использоваться различные зависимости.

Модель ползучести. Считая, что механические характеристики материала в любой точке элемента зависят от концентрации агрессивной среды в точке, принимаем:

$$\varepsilon_b = \sigma_b / E(c) + p, \quad (1)$$

где ε_b – полные деформации в момент времени t при воздействии агрессивной среды; σ_b – напряжения в момент времени t при воздействии агрессивной среды; $E(c)$ – модуль упругости, зависящий от концентрации среды; p – деформации ползучести.

Изменение деформаций ползучести с течением времени в условиях воздействия агрессивной среды будем описывать с использованием соотношений теории установившейся ползучести:

$$dp / dt = Bp^{-\alpha} \sigma^n, \quad (2)$$

где $B(c)$, $\alpha(c)$ и $n(c)$ – параметры, учитывающие характер процесса ползучести с учетом вида и концентрации агрессивной среды.

Качественную структуру уравнения модели (2) можно представить следующим образом. Уравнение описывает изменение скорости ползучести и предназначено для описания двух первых стадий ползучести: неустановившейся и установившейся. В правой части – произведение трех функций:

$$f_1 = B; f_2 = p^{-\alpha}; f_3 = \sigma^n. \quad (3)$$

При этом функция f_1 играет роль масштабирующего множителя, f_2 предназначена для описания стадии упрочнения, а f_3 описывает установившуюся ползучесть. Такая структура уравнения модели обеспечивает ее хорошую приспособляемость к различным экспериментальным данным и достаточно высокие эксплуатационные параметры. Однако следует отметить ряд особенностей, присущих уравнению (2).

1. Опытная зависимость деформации ползучести от напряжения должна аппроксимироваться формулой:

$$p = \left[B\sigma^n t (\alpha + 1) \right]^{\frac{1}{\alpha+1}}. \quad (4)$$

Данная особенность представляет собой требование монотонного поведения кривой ползучести. В случае немонотонного ее поведения достаточно применять модель лишь на интервалах монотонности, и к тому же в большинстве случаев указанная зависимость удовлетворяет требованию монотонности.

2. Данная особенность обусловлена тем, что экспериментальных данных, связанных с исследованиями в этом направлении и требуемых для определения коэффициентов модели (2), очень немного.

Кривые ползучести могут иметь различный характер, однако модель (2) из соображений общности и удобства применения обладает существенным свойством: при описании различных типичных кривых ползучести уравнение модели остается прежним – изменяются лишь его коэффициенты, которые при этом являются функциями, в том числе и концентрации сорбата. Кроме того, принимается гипотеза об эквивалентности поведения точки материала и поведения образца, если концентрация сорбата в точке и образце одинакова. Необходимо заметить, что ввиду отсутствия надежных экспериментальных данных о поведении железобетонных и армированных полимербетонных конструкций на стадии, близкой к моменту разрушения, при описании процесса ползучести в условиях воздействия агрессивных сред моделью (2) рассматриваем только 2 стадии – упрочнение и установившуюся ползучесть.

Методика параметрической идентификации модели ползучести по экспериментальным данным. При испытаниях на ползучесть измеряются деформации образцов, имеющих определенные размеры и форму. Экспериментальные данные, необходимые для оценки коэффициентов модели, включают ряд статистически усредненных кривых ползучести при разных уровнях концентрации среды и различных уровнях напряжений. Исследуя процесс ползучести совместно с процессами проникания агрессивной среды в объем элемента, необходимо знать, как ведет себя ползучесть для различных значений концентрации агрессивной среды, поскольку именно концентрация является в модели (2) характеристикой, учитывающей воздействие среды. В связи с тем, что процесс проникания агрессивной среды в образец и взаимодействия с материалом протекает во времени, распределение концентрации по сечению неравномерно и изменяется с течением времени. Таким образом, в процессе испытания измеряется деформация образца с наведенной и изменяющейся с течением времени неоднородностью механических свойств по сечению. Поэтому нахождение зависимостей $E(c)$, ..., $n(c)$ по известной истории изменения $\epsilon(t)$ представляется весьма затруднительным даже в том случае, когда явный вид этих зависимостей известен и необходимо определить лишь значения входящих в них коэффициентов. Анализ же исследований в этой области показывает, что существует очень небольшое количество экспериментальных данных по исследованию процесса ползучести с учетом воздействия агрессивных сред, удовлетворяющих условиям поставленных задач. Экспериментальные данные обычно получают для «крайних» случаев (полностью сухого и полностью насыщенного средой материала), которые не являлись непрерывной чередой новых состояний одного и того же материала, порождаемых воздействием агрессивной среды в течение различных интервалов времени. Отсутствие промежуточных данных не позволяет осуществить идентификацию для промежуточных случаев, что вынуждает принимать некоторые законы изменения параметров уравнения ползучести в промежуточных состояниях.

Поэтому применяется следующая методика параметрической идентификации модели. Сначала группа образцов разделяется на подгруппы в соответствии с тем или иным состоянием материала (не поврежденным агрессивной средой и полностью насыщенным ею). После этого для каждого уровня выделяются данные эксперимента на ползучесть при различных уровнях напряжений. По данным каждого такого

испытания производится идентификация модели материала, в результате которой для соответствующего состояния находятся значения коэффициентов модели и величины механических свойств. В итоге получаем поле значений коэффициентов модели для каждого из состояний материала, которое аппроксимируется подходящими функциями. Таким образом, задача идентификации модели материала сводится к последовательности задач идентификации модели при заданных состояниях и различных напряжениях.

Методика идентификации основывается на методе наименьших квадратов. Значения коэффициентов $\alpha(C)$, $B(C)$, $n(C)$ модели (2) определяются из условия наилучшей аппроксимации кривых ползучести образцов материалов (бетона или полимербетона) при различных их состояниях и разных уровнях напряжений. Если все измерения значений p_j проведены с одинаковой точностью, то оценки значений коэффициентов по методу наименьших квадратов находятся из условия, чтобы сумма квадратов отклонений от измеренных значений была минимальной, то есть имеем функционал вида:

$$I = \sum_{i=1}^n (\alpha^* \ln p_j - \ln B^* - n \ln \sigma_j - \ln t_j)^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где n – общее количество точек, принятых при аппроксимации экспериментальной кривой; $\alpha^* = \alpha + 1$; $B^* = B(\alpha + 1)$.

По изложенной методологии была произведена идентификация модели (2). Анализ полученных результатов показал, что значения параметров ползучести, определенные по описанной методологии, крайне чувствительны к положению точек экспериментальных диаграмм, т.е. в неповрежденном и полностью насыщенном средой состояниях идентификация проходит успешно (теоретические кривые хорошо ложатся на экспериментальные), но значения коэффициентов в этих крайних состояниях могут отличаться друг от друга на несколько порядков (см. таблицу, данные для бетона с $R_b = 23$ МПа). Так как модель ползучести (2) принята в виде нелинейной зависимости, то оказывается, что промежуточные кривые ползучести не дают монотонного перехода от неповрежденного состояния к состоянию, полностью насыщенному средой, и имеются чрезвычайно резкие выбросы. Опять-таки, учитывая отсутствие экспериментальных данных о промежуточных состояниях, разумно потребовать, чтобы кривые ползучести осуществляли монотонный переход из одного состояния в другое. Для этого была разработана специальная уточняющая процедура идентификации. Кривые ползучести материала в неповрежденном состоянии и соответствующие коэффициенты выбираются в качестве «опорных», идентификация же кривых ползучести материала в поврежденном состоянии осуществляется исходя из двух требований: первое – близость к экспериментальным данным, второе – близость друг к другу коэффициентов моделей для неповрежденного и поврежденного состояний материала. Таким образом, по разработанной методологии удалось определить уточненные значения коэффициентов, которые для разных материалов и состояний приведены в таблице. Установлено, что при соблюдении необходимых требований к подготовке входных данных такая методика уже в первом приближении обеспечивает достаточную точность. Если же точность идентификации недостаточна, то, варьируя найденные коэффициенты, можно добиться желаемой точности.

Очевидно, что максимально эффективная реализация такой методики идентификации возможна лишь при использовании компьютерных технологий. В связи с этим было составлено несколько программ в среде MATLAB для осуществления процедуры нахождения коэффициентов. Общее время работы на компьютере фактически ограничивается лишь скоростью ввода данных пользователем, после чего вычисляются коэффициенты, строятся таблицы и графики, и, таким образом, идентификация максимально ускоряется.

Анализ результатов параметрической идентификации модели ползучести для некоторых случаев. С использованием вышеописанной методики была произведена идентификация модели для ряда материалов. На рис. 1 представлены результаты идентификации модели для фуранового полимербетона по данным [1] для сухого и водонасыщенного состояний при растяжении. Условные обозначения на рис.1–3: 1, 2, 3, 4, 5 – $\sigma = 3,0; 2,5; 1,0; 0,75; 0,5$ МПа соответственно; - - - - экспериментальные

данные; — — кривые, рассчитанные по модели (2). Также были обработаны экспериментальные данные, приведенные в [2], для бетона нормальной плотности в сухом, водонасыщенном состояниях и в растворах 0,148 % Na₂SO₄ и 2 % Na₂SO₄. На рис. 2 представлены результаты идентификации модели для бетона с $R_b = 12,3$ МПа при сжатии, на рис.3 – с $R_b = 23$ МПа при сжатии. Условные обозначения на рис. 2 и 3: 1, 2, 3 – $\sigma = 4,92; 7,38; 9,84$ МПа соответственно; - - - - экспериментальные данные; — — кривые, рассчитанные по модели (2). Кроме того, были обработаны экспериментальные данные, приведенные в [3], для сплава Д16Т (рис. 4). Значения коэффициентов модели $B(c)$, $\alpha(c)$ и $n(c)$ для перечисленных материалов представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Материал	Коэффициенты модели		
	B , МПа ⁻ⁿ /сут	α	n
Фурановый полимербетон, растяжение			
На воздухе	2,46e-06	0,238	1,274
Водонасыщенное состояние	7,30e-05	0,49	1,1142
Бетон с $R_b = 12,3$ МПа, сжатие			
Воздушно-сухие условия	4,37e-21	2,45	2,93
Вода	1,6e-21	2,66	3,11
Раствор 0,148 % Na ₂ SO ₄	2,31e-20	2,42	3,17
Раствор 2 % Na ₂ SO ₄	6,54e-20	2,37	3,17
Бетон с $R_b = 23$ МПа, сжатие			
Воздушно-сухие условия	7,66e-21	2,02	3,99
Вода	1,2e-23	2,83	3,92
Раствор 0,148 % Na ₂ SO ₄	7,88e-20	2,17	3,18
Раствор 2 % Na ₂ SO ₄	2,5e-16	1,56	2,50
Сплав Д16Т			
Сухие условия	4,238e-013	-0,673	5,047

Как показал анализ результатов, модель ползучести (2) при значениях коэффициентов α , B , n , определенных по экспериментальным кривым согласно изложенной выше методологии в рассматриваемом интервале, достаточно хорошо описывает кривые ползучести как бетона, так и полимербетона.

Теоретические значения деформаций ползучести отличаются от экспериментальных значений практически на всем интервале аппроксимации не более чем на 7 %. При выполнении расчетов по проверке устойчивости модели по отношению к возможным колебаниям значений коэффициентов оказалось, что при изменении коэффициентов α , B , n на ± 1 % значения p_j меняются приблизительно на 2 %.

Результаты идентификации позволяют заключить, что модель (2) достаточно точно описывает кинетику кривых ползучести. При этом изложенная методология в совокупности с соответствующими программами позволяет представлять результаты идентификации не только в численном, но и в графическом виде, что значительно облегчает использование данной модели для описания поведения материалов.

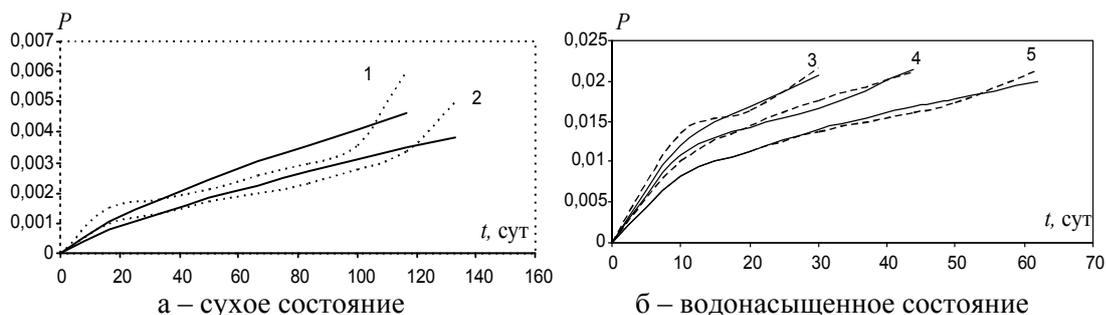


Рис. 1

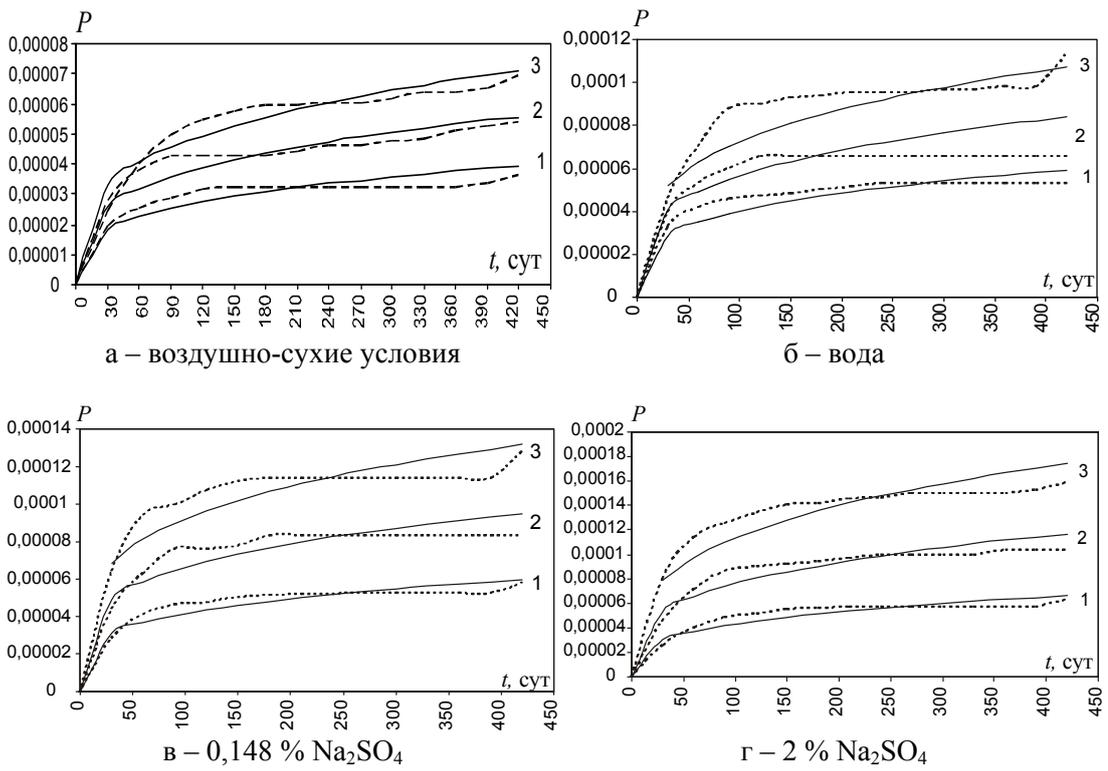


Рис. 2

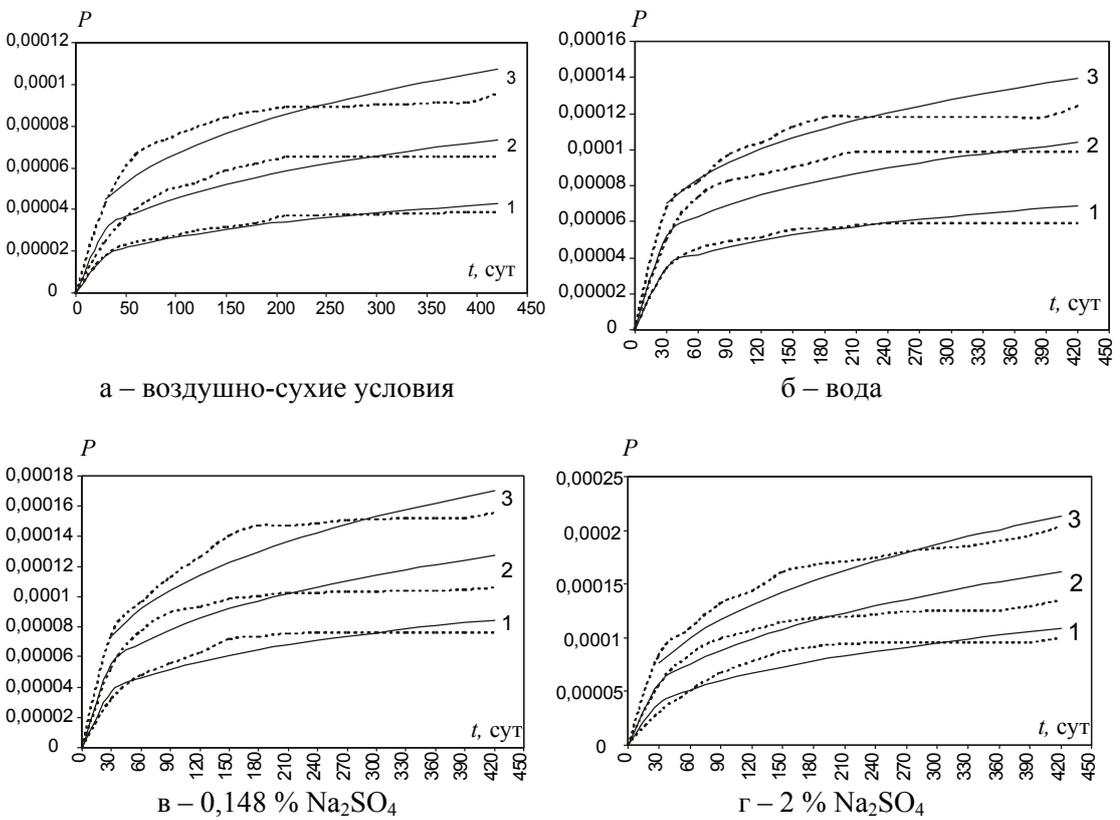


Рис. 3

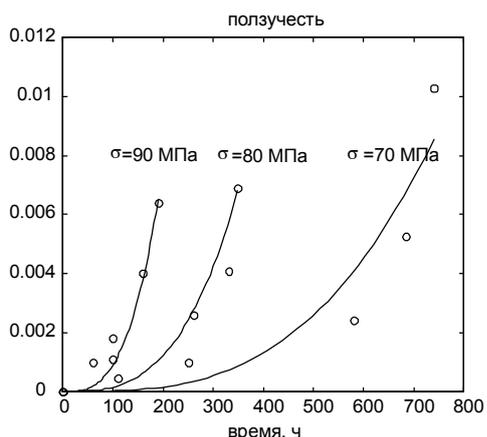


Рис. 4

Анализ зависимостей коэффициентов модели от концентрации агрессивной среды в точке материала. Проведем анализ зависимостей коэффициентов модели (2) от концентрации агрессивной среды в точке материала для коэффициентов, полученных для фуранового полимербетона.

На рис. 5 представлены возможные зависимости коэффициентов модели α , B , n от концентрации агрессивной среды в полимербетоне. Имея значения всех коэффициентов модели (2), а также модуля упругости в начальном (сухом (при $C = 0$)) и конечном (водонасыщенном (при $C = 1$)) состояниях полимербетона, можно предположить о

поведении этих зависимостей при промежуточных значениях, например при $C = 0,5$. Возможные варианты, следующие из этих предположений, представлены на рис. 6 – на примере коэффициента B , как и α увеличивающего свое значение с ростом концентрации агрессивной среды в полимербетоне, и на рис. 7 – на примере коэффициента n , значение которого, как и значение модуля упругости E полимербетона, уменьшается с повышением концентрации агрессивной среды. При этом коэффициенты модели (2) в случае 1 (рис.6, 7) аппроксимируются линейной зависимостью от концентрации:

$$B(c) = B_{\text{сух}} + (B_{\text{вод}} - B_{\text{сух}}) \cdot C; \quad \alpha(c) = \alpha_{\text{сух}} + (\alpha_{\text{вод}} - \alpha_{\text{сух}}) \cdot C; \quad (6)$$

$$n(c) = n_{\text{сух}} - (n_{\text{сух}} - n_{\text{вод}}) \cdot C,$$

а в случаях 2, 3 – экспоненциальной:

$$B(c) = B_{\text{сух}} \cdot (1 + (B_{\text{вод}} / B_{\text{сух}} - 1) \cdot C^m); \quad \alpha(c) = \alpha_{\text{сух}} \cdot (1 + (\alpha_{\text{вод}} / \alpha_{\text{сух}} - 1) \cdot C^m); \quad (7)$$

$$n(c) = n_{\text{сух}} \cdot (1 - (1 - n_{\text{вод}} / n_{\text{сух}}) \cdot C^k).$$

Примечание. В формулах (7) $m = 0,415$ и $k = 2$ в случае 2 (см. рис.6, 7); $m = 2$ и $k = 0,415$ в случае 3.

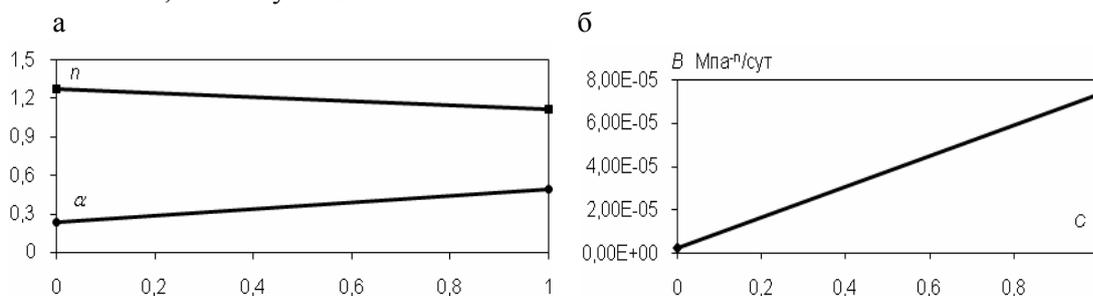


Рис. 5

На рис. 8 представлены расчетные кривые ползучести при $\sigma = 2$ МПа, иллюстрирующие поведение модели в случае аппроксимации коэффициентов зависимостью (6). На рис. 9 и 10 показаны расчетные кривые ползучести при $\sigma = 2$ МПа в случае аппроксимации коэффициентов модели зависимостями (7) по вариантам, представленным на рис. 6 и 7 соответственно. Обозначения те же, что и на рис. 8.

Необходимо еще раз отметить, что идентификация коэффициентов для фуранового полимербетона в зависимости от концентрации среды проведена с использованием минимального набора опытных данных; поэтому вид зависимостей коэффициентов модели от C задавался априори. Имеющиеся данные для двух состояний материала позволяют обеспечить информацией лишь простейшие зависимости. Для использования более точных зависимостей требуется подробная информация, по крайней мере необходимы данные для еще одного уровня концентрации.

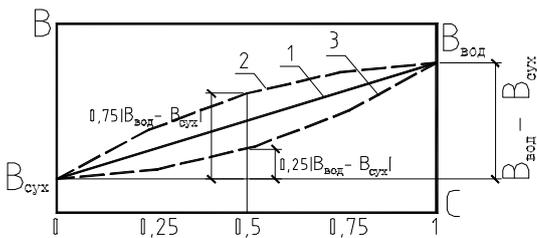


Рис. 6

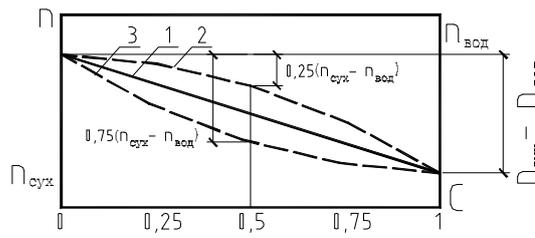


Рис. 7

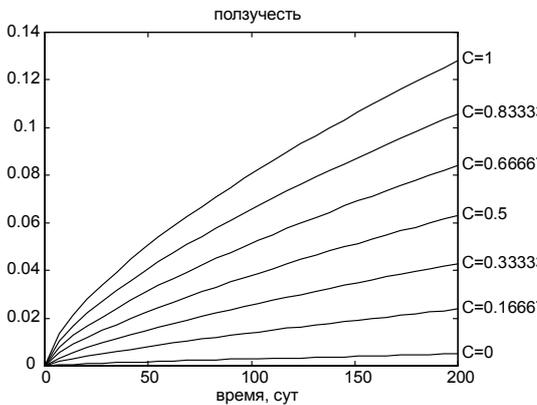


Рис. 8

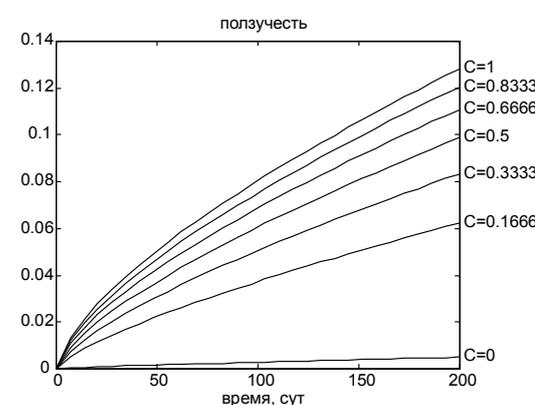


Рис. 9

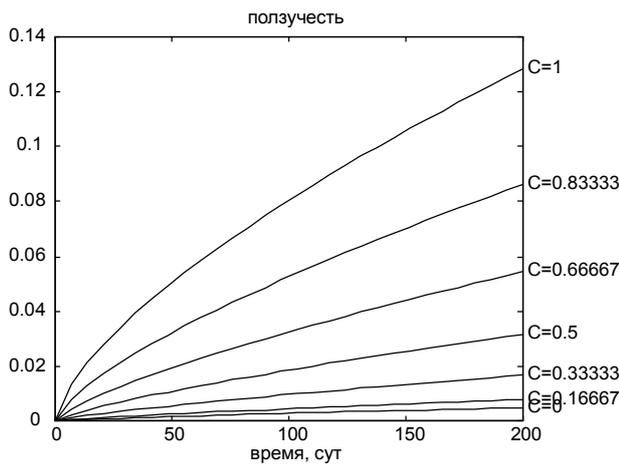


Рис. 10

Список литературы

1. Берман, Г.М. Коррозионные армополимербетоны / Г.М. Берман, Т.И. Татишвили. – Тбилиси: СабчотаСакартвело, 1980. – 140 с.
2. Попеско, А.И. Работоспособность железобетонных конструкций, подверженных коррозии / А.И. Попеско. – СПб.: СПб гос. архит.-строит. ун-т, 1996. – 182 с.
3. Закономерности ползучести и длительной прочности / под ред. С.А. Шестерикова. – М.: Машиностроение, 1983. – 101 с.

References

1. Berman, G.M. Corrosive armpolimerbetony / G.M. Berman, T.I. Tatishvili. – Tbilisi: SabchotaSakartvelo, 1980. – 140 p.
2. Popescu, A.I. Serviceability of reinforced concrete structures subjected to corrosion / A.I. Popescu. – St. Petersburg.: St. Petersburg State. arhit.-building. Univ., 1996. – 182 p.
3. Regularities of creep and creep rupture / pod red. SA Shesterikova. – Moscow: Mashinostroenie, 1983. – 101 p.

Саратовский государственный технический университет

Россия, 410054, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77,
тел: 8-(845)-2 – 99-89-05

Овчинников Илья Игоревич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Транспортное строительство»

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Мигунов Виктор Николаевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Городское строительство
и архитектура»

Скачков Юрий Петрович,
доктор технических наук, профессор,
ректор Пензенского государственного
университета архитектуры и строительства

Saratov State Technical University

Russia, 410054, Saratov,
77, Polytechnique St.,
tel: 8-(845)-2 – 99-89-05

Ovchinnikov Iliya Igorevich,
Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Transport Construction»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Migunov Viktor Nikolaevich,
Candidate Science, Associate Professor of
the department «Urban Construction and
Architecture»

Skachkov Yuri Petrovich,
Doctor of Science, Professor, Rector of Penza
State University of Architecture and
Construction

КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ ХЛОРИДНОЙ КОРРОЗИИ И КАРБОНИЗАЦИИ

И.И. Овчинников, В.Н. Мигунов, Ю.П. Скачков

Предложена методика расчёта коррозионно-механического разрушения железобетонных конструкций при совместном действии карбонизации и хлоридной коррозии.

Ключевые слова: железобетонные элементы, карбонизация, хлориды, деструкция, деформирование, разрушение.

CORROSION – MECHANICAL DESTRUCTION OF CONCRETE STRUCTURES UNDER THE SIMULTANEOUS ACTION OF CHLORIDE CORROSION AND CARBONIZATION

I.I. Ovchinnikov, V.N. Migunov, Yu.P. Skachkov

A calculation method of corrosion-mechanical failure of reinforced concrete structures under the combined action of carbonation and chloride corrosion is offered.

Keywords: reinforced concrete elements, carbonation, chlorides, destruction, deformation, damage

В процессе эксплуатации железобетонные транспортные сооружения подвергаются воздействию не только эксплуатационных нагрузок, но и агрессивных сред, проникание которых в бетон и взаимодействие с ним вызывают изменение механических свойств, коррозионный износ арматуры и т.д. В результате происходит значительное снижение несущей способности и долговечности железобетонных конструкций, что может вызвать необходимость их преждевременного ремонта или замены. С помощью моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций транспортных сооружений с учетом коррозионных эффектов можно прогнозировать

наступление неблагоприятных ситуаций, что позволит избежать наступления аварийного состояния и организовать проведение ремонта в наиболее оптимальное время.

Коррозионное разрушение железобетонных конструкций транспортных сооружений, особенно мостов, в основном происходит из-за таких факторов, как карбонизация и хлоридная коррозия, причем часто эти факторы действуют совместно. Карбонизация может быть вызвана диффузией углекислого газа, который в необходимом количестве содержится в воздухе. Хлориды попадают в бетон в результате использования солей-антиобледенителей, эксплуатации конструкции в приморской атмосфере [1].

К сожалению, до настоящего времени, хотя в процессе обследования сооружений эти факторы диагностируются, оценка их влияния на несущую способность и тем более долговечность конструкций носит скорее качественный, чем количественный характер.

Процесс карбонизации подробно рассмотрен в работах С.Н. Алексева, Е.А. Гусева, В.М. Москвина, Н.К. Розенталя, В.Ф. Степановой, М.Н. Fardis, Т. Ishida, К. Kishitani, К. Maekawa, К. Nische, V.G. Papadakis и других исследователей. Однако влияние карбонизации на характеристики арматуры и бетона железобетонных конструкций до настоящего времени исследовано еще недостаточно. В основном карбонизация определяется только для выявления инкубационного периода коррозии арматуры.

Существует ряд моделей, описывающих процесс карбонизации. Сюда можно отнести как простые модели вида

$$\delta = a + b\sqrt{t}, \quad (1)$$

которые позволяют определять только глубину карбонизации δ в момент времени t , так и сложные модели, в которых физические и химические процессы карбонизации бетона представлены в виде элементарных процессов, каждый из которых описан дифференциальным уравнением. Однако использование сложных моделей весьма затруднительно, прежде всего из-за сложности идентификации, связанной как с большим количеством подлежащих определению коэффициентов и функций, так и с недостатком и трудностью определения необходимых для этого экспериментальных данных.

Поэтому представляет интерес модель, которая достаточно просто, но в то же время корректно описывает процесс карбонизации и позволяет прогнозировать изменение напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов.

Для построения модели процесс карбонизации, который продолжается в карбонизированном слое бетона при увеличении концентрации CaCO_3 до полного расхода Ca(OH)_2 (рис. 1, а, б, в), описывается с использованием специально вводимого параметра μ , изменяющегося от 0 до 1 (рис. 1, г):

$$\mu = \frac{C_{\text{тек}}^{\text{CaCO}_3}}{C_{\text{max}}^{\text{CaCO}_3}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{тек}}^{\text{CaCO}_3}$ – концентрация CaCO_3 в заданной точке сечения; $C_{\text{max}}^{\text{CaCO}_3}$ – максимальная концентрация CaCO_3 (реакция уже завершилась).

Скалярный параметр химического взаимодействия μ ($0 \leq \mu \leq 1$) характеризует уровень химических превращений в точке конструкции при взаимодействии углекислого газа с гидроксидом кальция, при котором образуется карбонат кальция. При $\mu \approx 0$ карбонизация в точке еще не началась, при $0 < \mu < 1$ происходит процесс карбонизации, при $\mu = 1$ процесс карбонизации завершился (рис. 1, г).

Анализ кинетики происходящих реакций позволяет конкретизировать уравнение химического взаимодействия в виде:

$$\frac{d\mu}{dt} = q\mu(1-\mu), \quad (3)$$

где q – коэффициент, учитывающий свойства бетона и интенсивность воздействия окружающей среды.

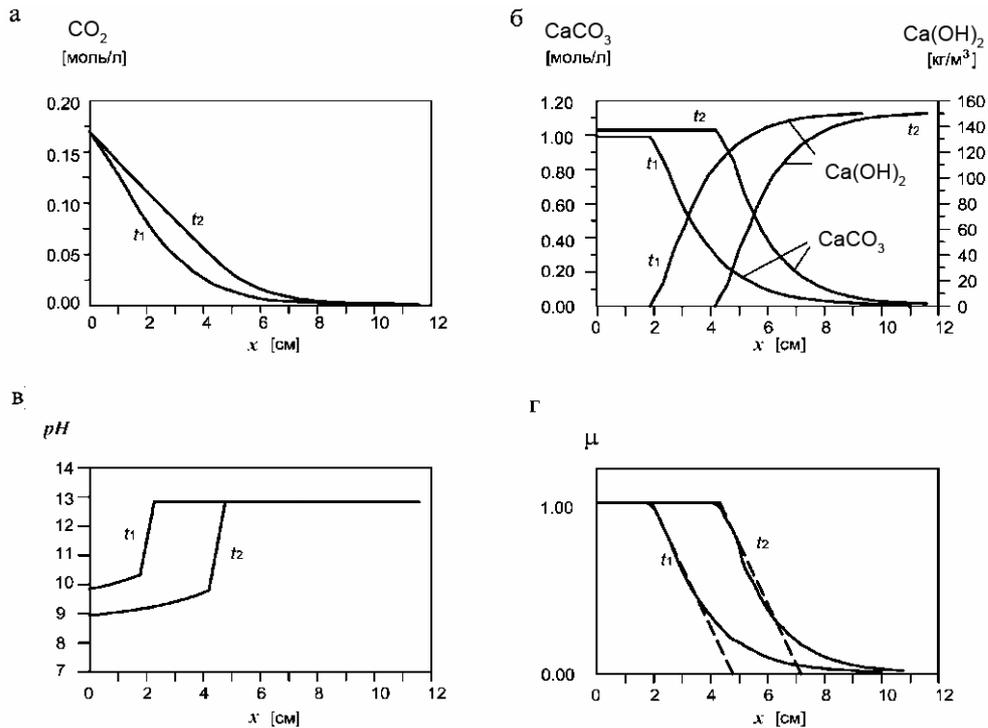


Рис. 1. Распределение углекислого газа (а), гидроксида и карбоната кальция (б), водородного показателя (в) и параметра химического взаимодействия μ (г) по глубине бетонного сечения в моменты времени t_1 и t_2

Решение уравнения (3) при $q = \text{const}$ имеет вид логистической кривой:

$$\mu = \left(1 + g_0 e^{-qt}\right)^{-1}, \quad g_0 = (1 - \mu_0) / \mu_0,$$

график которой приведен на рис.2 пунктиром.

Так как при $t < t_n$ изменений свойств бетона еще не происходит, а при $t > t_k$ уже не происходит, то логистическую кривую без особой погрешности можно аппроксимировать трехзвенной ломаной (сплошная линия на рис. 2).

Тогда кинетика взаимодействия будет описываться функцией $\mu(t)$:

$$\mu = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_n; \\ (t - t_n) / (t_k - t_n) & \text{при } t_n < t < t_k; \\ 1 & \text{при } t \geq t_k; \end{cases}$$

где $t_n = \eta C^m$ – продолжительность инкубационного периода, в течение которого не происходит изменения свойств материала; $t_k = \gamma C^k$ – момент завершения химических превращений в материале. Здесь η , γ , m , k – константы материала, $C = C(x, y, z, t)$ – концентрация углекислого газа в точке с координатами x , y , z в момент времени t .

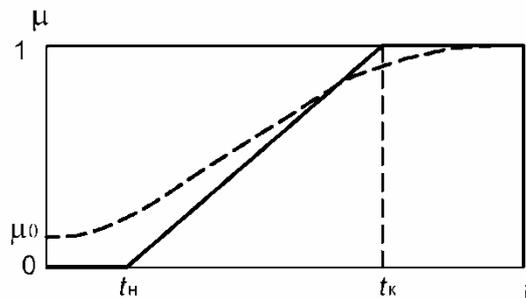


Рис. 2. Изменение параметра химического взаимодействия μ во времени

В качестве модели проникания углекислого газа в бетон, построенной на основании экспериментальных данных, используется уравнение диффузии. При одномерном процессе диффузии во многих случаях хорошие результаты дает применение более простой модели проникания в форме размытого фронта:

$$C(x, t) = \begin{cases} 0, & x > L(t), \\ C_0 \left(1 - \alpha \frac{x}{L(t)} + \beta \frac{x^2}{L(t)^2} \right), & x \leq L(t), \end{cases}$$

где x – координата точки сечения; t – время; C_0 – концентрация агрессивной среды на поверхности конструктивного элемента; α , β – коэффициенты; $L(t)$ – закон продвижения границы размытого фронта карбонизации в глубь конструктивного элемента,

$$L(t) = \lambda t^r;$$

здесь λ , r – эмпирические коэффициенты.

Исследования показали, что прочность бетона после карбонизации изменяется (возрастает или уменьшается, в зависимости от вида цемента).

Модель деформирования бетона при карбонизации принята в виде [2]:

$$\sigma = A(\mu)\varepsilon - B(\mu)\varepsilon^3,$$

где $A(\mu) = A_0\chi_1(\mu) = A_0(1-f_1(\mu))$, $B(\mu) = B_0\chi_2(\mu) = B_0(1-f_2(\mu))$.

Для разных значений параметра μ были получены диаграммы деформирования бетона (рис.3).

Рассмотрим теперь модель деформирования железобетонного элемента при совместном действии карбонизации и хлоридной коррозии, представляющую собой сочетание моделей нагружения, конструктивного элемента, воздействия агрессивной среды (карбонизации и хлоридной коррозии), деформирования материала с учетом изменений, вызванных действием агрессивной среды, и модели коррозионного износа арматуры.

Бетон рассматривается как нелинейный, разномодульный композитный материал. Диаграмма деформирования бетона принимается в виде кубической параболы:

$$\sigma = \begin{cases} A_{0p}\varepsilon - B_{0p}\varepsilon^3, & \sigma > 0; \\ A_{0c}\varepsilon - B_{0c}\varepsilon^3, & \sigma < 0, \end{cases}$$

учитывающей различную работу бетона при растяжении (p) и сжатии (c).

При совместном действии хлоридной коррозии и карбонизации диаграмма деформирования бетона принимается в виде:

$$\sigma = \begin{cases} A_{0p}\chi_1(\mu)\psi_1(C)\varepsilon - B_{0p}\chi_2(\mu)\psi_2(C)\varepsilon^3, & \sigma > 0; \\ A_{0c}\chi_1(\mu)\psi_1(C)\varepsilon - B_{0c}\chi_2(\mu)\psi_2(C)\varepsilon^3, & \sigma < 0, \end{cases}$$

где $\psi(C)$ – функция влияния хлоридной коррозии; $\chi(\mu)$ – функция влияния карбонизации; C – концентрация хлоридов.

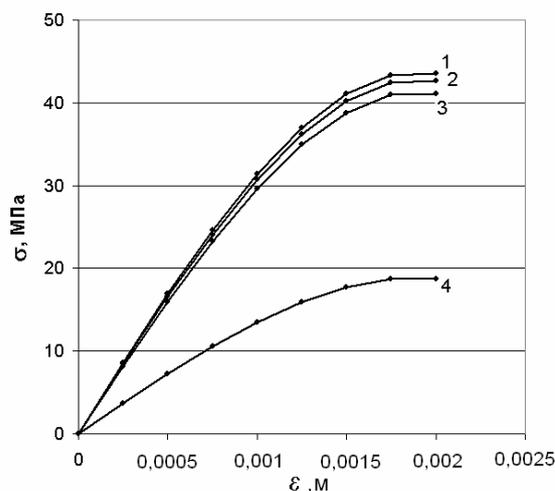


Рис. 3. Диаграммы деформирования бетона (при сжатии), соответствующие различной степени карбонизации: 1 – $\mu = 0,0,7$; 2 – $\mu = 0,86$; 3 – $\mu = 0,9$; 4 – $\mu = 1$

Модель коррозионного износа арматуры принимается в виде:

$$\delta = \begin{cases} 0, & t \leq t_{inc}; \\ \alpha(t - t_{inc})^\beta, & t > t_{inc}, \end{cases}$$

где δ – глубина коррозии арматуры; t_{inc} – инкубационный период.

При карбонизации бетона критическая концентрация хлоридов, при которой начинается коррозия арматуры, уменьшается в два раза, т.е. $C_{кр}^k = C_{кр}^h / 2$ (рис. 4); следовательно, и инкубационный период при карбонизации будет меньше, т.е. $t_{inc}^{карб} < t_{inc}^{без карб}$.

Учитывается, что коррозия арматуры может начаться не только при воздействии хлоридов, но и в результате карбонизации. По аналогии с хлоридной коррозией принято, что коррозия арматуры начинается при достижении у ее поверхности некоторой критической величины параметра химического взаимодействия $\mu_{кр}$.

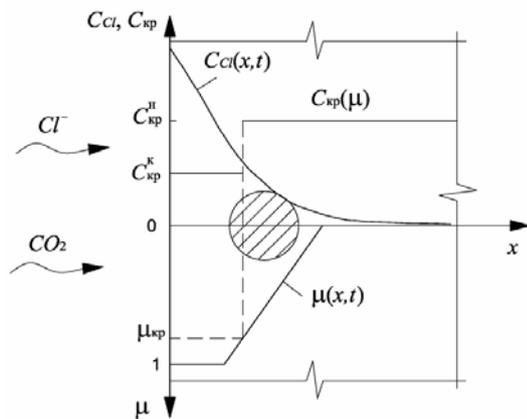


Рис. 4. Схема проникания хлоридов и углекислого газа в железобетонный конструктивный элемент

В таблице приводятся случаи воздействия хлоридов и углекислого газа на железобетонный конструктивный элемент транспортного сооружения, где под «фронтом» понимается наличие в данной точке железобетонного элемента величины $C = C_{кр}$ или $\mu = \mu_{кр}$.

Рассмотрим задачу прогнозирования поведения для сжимаемой круглой стойки опоры, уравнение равновесия которой имеет вид:

$$N = N_s + N_c,$$

где N – действующее на стойку сжимающее усилие; N_s – усилие, воспринимаемое арматурой; N_c – усилие, воспринимаемое бетоном.

$$N_s = \sigma_s \cdot \sum_{i=1}^{n_s} F_{si}(t);$$

$$N_c = \iint_{F_c} \sigma_c(C, \mu, t) dF_c = \int_0^R \sigma_c(C, \mu, t) 2\pi\rho d\rho.$$

Здесь t – время; σ_s – напряжение в арматуре; $F_{si}(t)$ – площадь сечения i -го арматурного стержня; n_s – количество арматурных стержней; $\sigma_c(C, \mu, t)$ – напряжение в бетоне; F_c – площадь поперечного сечения элемента, занятая бетоном; ρ – координата вдоль радиуса круглого сечения ($0 \leq \rho \leq R$).

Для прямоугольной железобетонной балки, подверженной воздействию карбонизации и хлоридов, уравнения равновесия имеют вид:

$$N + \sigma'_s A'_s(t) + \sigma_s A_s(t) + b \int_{-\frac{h}{2}}^{z_0(t)} \sigma_p(C, \mu, t) dz + b \int_{z_0(t)}^{\frac{h}{2}} \sigma_c(C, \mu, t) dz = 0;$$

$$M + \sigma'_s A'_s(t) z_c + \sigma_s A_s(t) z_p + b \int_{-\frac{h}{2}}^{z_0(t)} \sigma_p(C, \mu, t) z dz + b \int_{z_0(t)}^{\frac{h}{2}} \sigma_c(C, \mu, t) z dz = 0.$$

Расчет нагруженных элементов, подвергающихся воздействию хлоридной коррозии и карбонизации, производится в три этапа [3]: этап силового нагружения, этап

погружения элемента в агрессивную среду и этап деформирования конструктивного элемента во времени с учетом изменения механических свойств материала под влиянием среды. Результаты расчета круглой железобетонной стойки опоры приведены на рис. 5 и 6.

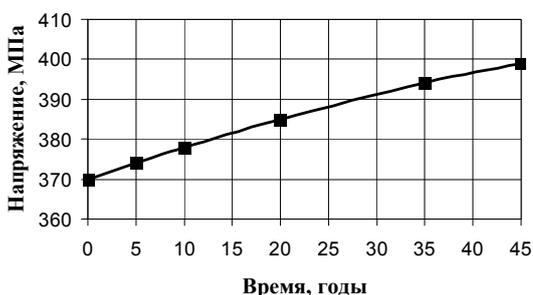


Рис. 5. Изменение напряжений в арматуре с течением времени при совместной хлоридной коррозии и карбонизации

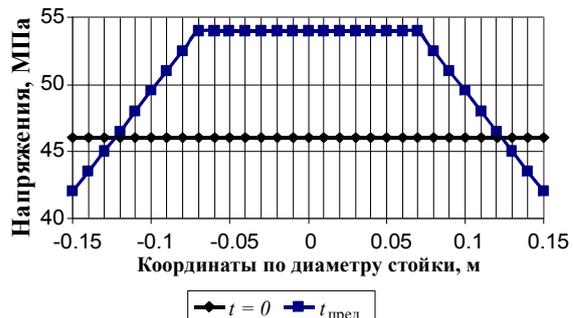


Рис. 6. Эпюра напряжений в бетоне в сечении стойки в начальный момент времени и в момент наступления предельного состояния

Случаи воздействия агрессивной среды на железобетонный элемент мостового сооружения

Измеряемый параметр	Нет агрессивного воздействия	Случаи воздействия							
		Только CO ₂		Только Cl		CO ₂ и Cl			
		«Фронт» карбонизации не достиг арматуры	«Фронт» карбонизации достиг арматуры	«Фронт» хлоридов не достиг арматуры	«Фронт» хлоридов достиг арматуры	«Фронты» не достигли арматуры	«Фронт» хлоридов достиг арматуры	«Фронт» карбонизации достиг арматуры	Оба «фронта» достигли арматуры
Время эксплуатации конструкции	$t = 0$	$t < t_{inc}^{карб.}$	$t \geq t_{inc}^{карб.}$	$t < t_{inc}^{Cl}$	$t \geq t_{inc}^{Cl}$	$t < t_{inc}^{карб.}$ $t < t_{inc}^{Cl}$	$t < t_{inc}^{карб.}$ $t \geq t_{inc}^{Cl}$	$t \geq t_{inc}^{карб.}$ $t < t_{inc}^{Cl}$	$t \geq t_{inc}^{карб.}$ $t \geq t_{inc}^{Cl}$
Параметр химического взаимодействия на уровне арматуры	$\mu = 0$	$\mu < \mu_{кр}$	$\mu \geq \mu_{кр}$	$\mu = 0$		$\mu < \mu_{кр}$		$\mu \geq \mu_{кр}$	$\mu \geq \mu_{кр}$
Концентрация хлоридов на уровне арматуры	$C = 0$	$C = 0$	$C < C_{кр}$	$C \geq C_{кр}$	$C < C_{кр}$	$C \geq C_{кр}$	$C < C_{кр}$	$C \geq C_{кр}$	$C \geq C_{кр}$
Напряжение в бетоне σ_b	$A_0 \varepsilon - B_0 \varepsilon^3$	$A_0 \chi_1(\mu) \varepsilon - B_0 \chi_2(\mu) \varepsilon^3$	$A_0 \psi_1(C) \varepsilon - B_0 \psi_2(C) \varepsilon^3$		$A_0 \chi_1(\mu) \psi_1(C) \varepsilon - B_0 \chi_2(\mu) \psi_2(C) \varepsilon^3$				
Напряжение в арматуре	$\sigma_a = a \varepsilon^m$								
Глубина коррозии арматуры δ	0	$\alpha(t - t_{inc}^{карб.})^\beta$	0	$\alpha(t - t_{inc}^{Cl})^\beta$	0	$\alpha(t - t_{inc}^{Cl})^\beta$	$\alpha(t - t_{inc}^{карб.})^\beta$	$\alpha(t - t_{inc}^{Cl})^\beta$	$\alpha(t - t_{inc}^{карб.})^\beta$

Результаты расчета железобетонной балки прямоугольного сечения для случая воздействия агрессивной среды одновременно на верхнюю и нижнюю ее поверхности приведены на рис. 7 и 8.

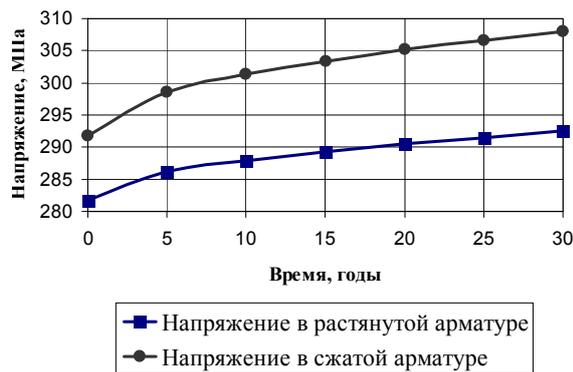


Рис. 7. Изменение напряжений в арматуре с течением времени

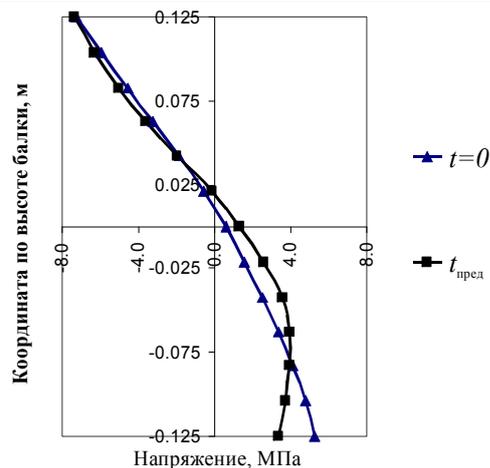


Рис. 8. Эпюра напряжений в бетоне в сечении балки в начальный момент времени и в момент наступления предельного состояния

Выводы. Приведена система моделей, описывающих деформирование и разрушение нагруженных стоечных и балочных элементов железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом одновременного деструктирующего воздействия карбонизации и хлоридсодержащей среды при одновременном действии нагрузки. С использованием моделей проведено исследование напряженно-деформированного состояния железобетонной стойки и балки с учетом совместного действия карбонизации и хлоридной коррозии. Установлено сильное деструктирующее влияние хлоридной коррозии и карбонизации на характер напряженно-деформированного состояния и долговечность элементов железобетонных конструкций транспортных сооружений, что говорит о необходимости обязательного учета совместного воздействия хлоридсодержащих сред и процесса карбонизации при прогнозировании поведения элементов железобетонных конструкций транспортных сооружений в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Овчинников, И.Г. Влияние хлоридсодержащих сред на прочность и долговечность пластин на упругом основании / И.Г. Овчинников, А.В. Кривцов, Ю.П. Скачков. – Пенза: ПензГАСА, 2002. – 214 с.
2. Овчинников, И.Г. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при воздействии хлоридной коррозии и карбонизации / И.Г. Овчинников, А.Н. Маринин, Г.А. Наумова // Вестник ВолгГАСУ. – 2007. – Вып. 6 (23). – С. 85–93.
3. Овчинников, И.И. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами / И.И. Овчинников, Г.А. Наумова. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2007. – 272 с.

References

1. Ovchinnikov, I.G. Effect of chloride-containing environments in the strength and durability of plates on elastic foundation / I.G. Ovchinnikov, A.V. Krivtsov, Yu.P. Skachkov. – Penza: PenzGASA, 2002. – 214 p.
2. Ovchinnikov, I.G. Prediction of stress-strain state of reinforced concrete structures under the influence of chloride corrosion and carbonation / I.G. Ovchinnikov, A.N. Marinin, G.A. Naumova // Herald VolgGASU. – 2007. – Vol. 6 (23). – P. 85–93.
3. Ovchinnikov, I.I. The accumulation of damage in the rod and plate-reinforced structures, interacting with aggressive media / I.I. Ovchinnikov, G.A. Naumova. – Volgograd: Ed-in VolgGASU, 2007. – 272 p.

УДК 69.059.22

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Кузин Николай Яковлевич**,
кандидат технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Экспертиза и управление
недвижимостью»**Багдоев Сергей Георгиевич**,
кандидат технических наук, доцент,
директор инженерно-строительного
института*Penza State University of Architecture
and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Kuzin Nikolay Jakovlevich**,
Candidate of Science, Professor,
Head of «Examination and management
of the real estate»**Bagdоеv Sergey Georgievich**,
Candidate of Science, Associate Professor,
Director of construction institute

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Н.Я. Кузин, С.Г. Багдоев

Представлены результаты оценки технического состояния здания. Приведен пример потери зданием эксплуатационных функций, связанной с неграмотной эксплуатацией, приведший к снижению комфортности помещений, ухудшению условий труда, другим негативным факторам.

Ключевые слова: строительные конструкции, эксплуатация, диагностика.

ESTIMATION OF EXTERNAL FACTORS INFLUENCE ON THE BEARING ABILITY OF CIVIL BUILDINGS DESIGNS

N.J. Kuzin, S.G. Bagdоеv

The results of the building working state evaluation are presented. The authors give an example of the building operational functions loss due to poor maintenance which have lead to deterioration of conveniences and working conditions and other negative factors.

Keywords: building designs, operation, diagnostics.

За годы эксплуатации гражданские здания изнашиваются, теряют свою привлекательность, снижаются их эксплуатационные характеристики. Чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию здания, необходимо постоянно поддерживать его в работоспособном состоянии, что требует определенных финансовых затрат. Существующая система мониторинга, при котором отслеживается картина технического состояния зданий, весьма несовершенна.

На примере здания ГУ КСРЦН «Защита детства», которое принадлежит муниципалитету города, проведен анализ результата позднего мониторинга технического состояния названного объекта.

Шлакоблочное здание с размерами в плане 26200×11700 мм построено в 1954 г. Главным фасадом выходит на северо-запад, дворовым фасадом – на юго-восток. В 1960 г. был возведен пристрой – кирпичное двухэтажное здание, прямоугольное, с размерами в плане 26300×7900 мм, расположенное главным фасадом на юго-запад и дворовым фасадом – на северо-восток.

Третья очередь строительства – здание размерами в плане 27100×7900 мм; высота здания 7 м.

Пространственная жесткость здания обеспечивается продольными и поперечными стенами. За годы эксплуатации здесь не проводился капитальный ремонт, имели место лишь текущие ремонты.

Цель исследования состояла в выявлении дефектов, повреждений и оценки технического состояния конструктивных элементов здания на основе детального визуального обследования, поскольку у стен здания появились вертикальные, наклонные трещины, а также отклонения от вертикали.

Обследование здания проводилось в соответствии с [1] и [2] силами сотрудников Пензенского госуниверситета архитектуры и строительства в период с 1 декабря по 23 декабря 2010 г., с 10 июля по 20 июля 2011 г.

Процедура проведения обследования строительных конструкций включает принципиальную схему и состав работ, позволяющих объективно оценить техническое состояние, фактическую несущую способность конструкций, а в случае необходимости – принять обоснованное техническое решение по ремонтно-восстановительным мероприятиям или способам усиления. В нашем случае детальное обследование проводилось по всем частям и конструктивным элементам здания. В результате чего установлено, что техническое состояние отдельных конструктивных элементов не соответствует нормативным требованиям и нормам безопасного нахождения людей в жилых зданиях.

Несущими конструктивными элементами здания являются строительные конструкции, воспринимающие эксплуатационные нагрузки и воздействия и обеспечивающие пространственную устойчивость и жесткость, а именно:

– ленточные фундаменты бутовые под торцевыми и поперечными кирпичными несущими стенами;

– кирпичные стены первой очереди постройки (1954 г.), выполненные из шлакобетонных блоков и кирпича (два ряда шлакоблоков, затем один или два ряда кирпича по высоте).

Вторая очередь строительства (пристрой) здания выполнена из красного кирпича пластического прессования. Толщина наружных стен 640 мм, внутренних стен – 380 мм. Междуэтажные перекрытия в зданиях первой и второй очереди деревянные, в третьей очереди – железобетонные. Кровля шиферная.

Отмостка по дворовому периметру здания выполнена из асфальта, однако с юго-западной стороны она отсутствует. Имеются водопровод, канализация, центральное отопление.

Технической документации на здание не обнаружено.

При детальном обследовании произведены необходимые обмеры с занесением в специальный журнал следующих данных: геометрические размеры конструкций и элементов, указаны места разрушений, местные и общие погибы, сколы защитного слоя бетона, отмечено уменьшение площадей поперечного сечения элементов, положение и характер трещин, отклонения от вертикали, места промерзаний, результаты замеров влажности.

По всему периметру здания имеют место локальные нарушения целостности штукатурки, кирпичной кладки, трещины, отклонения от вертикали несущих кирпичных стен.

Рассматриваемое здание относится к зданиям конечной жесткости. Оно характеризуется тем, что в процессе развития неравномерных деформаций ее строительные конструкции получают в процессе эксплуатации искривления и неравномерные осадки. Неравномерные осадки вызывают в строительных конструкциях развитие дополнительных усилий, которые зачастую не учитываются при проектировании конструкций и обуславливают появление в них трещин. В то же время часть пристроя (вторая очередь строительства), примыкающего к старому строению, можно отнести к числу гибких зданий, где стены недостаточно жестко соединены с перекрытиями. У таких зданий за перемещением грунта основания следуют перемещения стен, поскольку они слабо связаны с перекрытиями. Продольные и поперечные стены имеют заметные вертикальные, поперечные и наклонные трещины с шириной раскрытия от 0,01 до 25 мм. Наибольшая ширина раскрытия трещин в стенах наблюдается вблизи мест, где могла быть вода (рядом со зданием проходят канализационные сети), в местах, где разрушена или отсутствует отмостка. Вертикальные, поперечные и

наклонные трещины имеются как у несущих кирпичных, так и шлакобетонных продольных, поперечных стен и перегородок.

Трещины – признаки неравномерной осадки оснований и фундаментов здания. Чтобы определить, стабилизировался или нет процесс осадки, следует установить маяки из гипса или полосок стекла с рисками-отметками на трещинах и понаблюдать за ними в течение месяца или более. Увеличение ширины раскрытия трещин свидетельствует о продолжении осадок. Производить ремонтные работы можно лишь после стабилизации осадки фундамента. Если на этих маяках в течение одного – трех месяцев не появятся трещины, значит деформация здания прекратилась. Тогда можно ограничиться заделкой трещин цементным раствором состава 1:4 (цемент: песок) или произвести усиление строительных конструкций. В нашем случае, за 6 месяцев деформации, хотя и незначительно, но увеличились. Следовательно, необходимо усиление кирпичных стен. Цель усиления – предотвращение отклонения вертикальных стен наружу.

Неорганизованный водоотвод приводит к повреждению элементов фасада, разрушению цоколя, преждевременному износу фундамента из-за чрезмерно высокой гидростатической нагрузки. Перечисленные негативные последствия могут быть частично уменьшены за счет увеличения выноса карниза (как правило, не менее 60 см) и устройства отмостки. Вылет карниза 350 мм оказался несколько меньше требуемого.

Кровлю во время ремонта перекрыли асбестоцементными листами (год замены неизвестен). Между листами шифера имеются просветы и щели. Вместо коньковых асбестоцементных деталей конёк закрыт металлическим листом. Слуховые окна не обустроены, и через них на чердачное перекрытие попадает снег.

Деревянные элементы конструкций кровли находятся во влажном состоянии, что неминуемо ведет к заражению грибом. Домовый грибок является самым опасным врагом деревянных конструкций. Процесс полного разрушения древесины этими видами грибов может произойти в течение 1–1,5 лет, если конструкция эксплуатируется в благоприятных для развития грибов условиях. Такими условиями являются: влажность не ниже 25 %, температура воздуха 18–30 °С, слабое проветривание места и плохое освещение.

Конструктивное решение карниза здания характерно для сооружений, возведенных в начале 60-х годов. Это деревянный короб, обитый дранкой и оштукатуренный цементно-известковым раствором. Защищенный кровлей от атмосферных осадков, он мог длительное время находиться в эксплуатации, сохраняя хороший архитектурный вид. Шиферная кровля после капитального ремонта способствовала некоторому уменьшению вылета карниза. В результате в отдельных местах атмосферные осадки стали увлажнять штукатурку карниза. При увлажнении штукатурки в ее порах происходит рост кристаллов из насыщенного раствора солей. Высолы представляют собой смесь многих химических соединений — карбонатных, кальциевых, хлоридов, оксидов металлов, являющихся благоприятной средой для появления грибов.

Междуэтажные перекрытия между первым и вторым этажом и чердачные перекрытия – деревянные. Главные балки деревянного перекрытия заанкерены в наружных стенах стальными анкерами. В процессе обследования установлено, что роль главных балок перекрытия в здании выполняют три металлических швеллера №18. Совместная работа металлических швеллеров и деревянных балок настила проблематична ввиду того, что при прогибах деревянных балок настила основная нагрузка будет передаваться на крайние швеллеры. Жесткость такого перекрытия невысока, что отрицательно сказывается на совместной работе кирпичных стен и перекрытия. При такой жесткости кирпичные стены у перекрытия имеют слабое закрепление и могут отклоняться от вертикали, как правило, наружу.

Для того чтобы исключить обрушение наружных стен здания, ограничить ширину раскрытия существующих трещин, необходимо всё здание усилить металлическими поясами. Эти пояса целесообразно размещать в уровне междуэтажного и чердачного перекрытий, вдоль несущих поперечных стен.

На момент обследования по внешнему периметру здания отмостки не обнаружено, во всяком случае, в более или менее надлежащем виде. Элементы старой отмостки разрушены настолько, что их нельзя уже считать действующей отмосткой, способной удалять атмосферную воду от здания. Полагаем, что это обстоятельство определенным образом повлияло на деформации основания под зданием и способствовало отклонению кирпичных стен от вертикали.

Учитывая то, что здание стоит под косогором и на слабом грунте, а должная отмостка отсутствует, невозможно обеспечить надежную эксплуатацию несущих конструкций здания. Замачивание грунта под фундаментами приводит к осадкам основания.

В летний период также проводилось дополнительное обследование здания.

Было установлено, что внутренняя часть двора здания имеет плохой (весь в трещинах) асфальт, причем наблюдается уклон в сторону здания. При атмосферных осадках вода оказывается вблизи здания и проникает к фундаментам через трещины в асфальте.

Цоколь здания выполнен из красного кирпича пластического прессования, который достаточно стоек для влажной среды. Вместе с тем, находясь в зоне переменного увлажнения и многократного периодического замораживания, он разрушается.

При замерзании воды в порах материала объем ее увеличивается, что создает внутренние напряжения, которые возрастают вследствие сжатия массы самого материала под влиянием охлаждения. Давление льда в замкнутых порах весьма велико – до 20 Па. Разрушение конструкций в результате замораживания происходит только при полном (критическом) влагосодержании, насыщении материала.

Вода начинает замерзать у поверхности конструкций, а поэтому их разрушение под воздействием отрицательной температуры начинается с поверхности, особенно с углов и ребер. Максимальный объем льда получается при температуре -22°C , когда вся вода превращается в лед. Интенсивность замерзания влаги зависит от объема пор. Так, если вода в больших порах начинает переходить в лед при 0°C , то в капиллярах она замерзает только при -17°C .

Для любого конструктивного решения фундаментов необходимо условие, при котором основание под ним должно быть ровным, плотным, что позволяет равномерно передавать нагрузку с подошвы фундамента на это основание. Если основание (грунт) на разных участках под фундаментом по прочности и деформативности будет различным, то возможна неравномерная осадка фундамента или перекос (поворот).

В данной ситуации основание с внешней стороны здания характеризовалось меньшей прочностью и большей деформативностью. Произошел поворот фундаментов – и кирпичные стены отклонились наружу.

Причиной отклонения является увлажнение основания (грунта) с внешней стороны здания из-за отсутствия отмостки, протечек канализационной системы, которая проходит рядом с фундаментом здания.

Грунтовая вода, в свою очередь, вследствие капиллярного поднятия перемещается вверх на значительную высоту и обводняет верхние слои грунта.

Ниже указываются основные причины возникновения в процессе эксплуатации существенных дефектов и повреждений.

1. Наличие трещин в кирпичных стенах здания, отклонения их от вертикали характеризует то, что у здания не обеспечена пространственная жесткость. Указанный вид повреждения появился из-за замачивания основания под зданием. Увлажнение основания происходило по нескольким причинам:

– вокруг здания практически отсутствует отмостка, поэтому часть атмосферных осадков попадала в грунт под здание;

– канализационная система проходит вдоль здания на расстоянии от 60 см до 3 м. Велика вероятность того, что стыки канализационных труб во время деформаций грунта стали негерметичны и вода уходит под здание;

– здание расположено под косогором; атмосферные осадки скапливаются вблизи здания;

– во время эксплуатации замечено, что интенсивное появление трещин в здании связано с пуском рядом расположенной общественной бани, когда объем стоков увеличился в несколько раз.

2. Неорганизованный отвод атмосферных осадков с кровли в ветреную погоду приводил к замачиванию штукатурки кирпичных стен, карниза, что сказалось на их состоянии и долговечности. Существующий небольшой вылет (25 см) карниза способствовал разрушению штукатурки, особенно в углах здания.

3. Причиной появления трещин в кирпичных стенах тамбура у входа на кухню является осадка грунта под фундаментами и строительными конструкциями, произошедшая из-за близкого расположения (50 см) колодца и канализационной сети.

Очевидно, что для безопасной и надежной эксплуатации здания необходимо разработать мероприятия, позволяющие в дальнейшем эксплуатировать здание:

– для обеспечения необходимой пространственной жесткости здания и уменьшения ширины раскрытия трещин в кирпичных стенах и перегородках необходимо произвести усиление стен в уровне междуэтажного и чердачного перекрытий металлическими стяжками-поясами. После установки металлических поясов жесткости трещины в кирпичных стенах и перегородках расшить и заделать цементным раствором;

– поврежденные участки штукатурки кирпичных стен фасада, карниза заделать цементно-песчаным раствором марки не ниже М100. По существу, необходимо выполнить ремонт фасада всего здания с последующей его окраской атмосферостойкими красками;

– поврежденные перегородки первого этажа (кухни, входного тамбура) разобрать и переложить с устройством ленточного монолитного железобетонного фундамента;

– обеспечить надлежащий отвод атмосферной влаги от стен здания устройством свесов и отмостки.

Следует разработать новый проект реконструкции канализационной сети с учетом переноса ее на расстояние не ближе 6 м от здания.

Список литературы

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004.

2. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Общие требования.

Referense

1. SP 13-102-2003. The rules of bearing structures examination in buildings and constructions. – М.: Gosstroi Rossii, 2004.

2. GOST R 53778-2010. Buildings and constructions. The rules of working state examination and monitoring. General requirements.

УДК 69.059.32:624.15

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Гучкин Игорь Сергеевич,

кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции»

Черячукин Владимир Владимирович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Сопроотивление материалов и теория упругости»Тел.: 8 (8412) 55-44-60
E-mail: VVChery@mail.ru

ООО ПО «Гипромаш»

Россия, г. Пенза, ул. Московская, 74, тел.: (8412)55-34-43; факс: (8412)55-34-27

Панков Александр Викторович,

аспирант кафедры «Строительные конструкции»

E-mail: Pankupols@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

Guchkin Igor Sergeevich,

Candidate of Sciences, Professor of the department «Building construction»

Cheryachukin Vladimir Viktorovich,

Candidate of Science, Professor of the department «Resistance of materials and the elasticity theory»

Tel.: 8 (8412) 55-44-60
E-mail: VVChery@mail.ru

ООО ПО «Gipromasch»

Russia, Penza, 74, Moscovskay St., tel.: (8412)55-34-43; fax: (8412)55-34-27

Pankov Aleksandr Viktorovich,

Postgraduate of the department «Building construction»

E-mail: Pankupols@mail.ru

ПРОЧНОСТЬ И ЖЁСТКОСТЬ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ

И.С. Гучкин, В.В. Черячукин, А.В. Панков

Приводятся результаты экспериментальных исследований железобетонных балок, усиленных комбинированной системой из стальных элементов с различными расстоянием между подвесками и положением промежуточных опор.

Ключевые слова: железобетонная балка, усиление, комбинированная система, эксперимент, прочность, жёсткость.

THE STRENGTH AND STIFFNESS OF BEAMS AMPLIFIED BY COMBINED SYSTEM

I.S. Guchkin, V.V. Cherychukin, A.V. Pankov

The experimental results of examining reinforced beams amplified by combined system of steel elements with different distance between hanger and position of intermediate support are given.

Keywords: reinforced concrete beam, enhancement (reinforcing), combined system, experiment, strength, rigidity.

Развитие инфраструктуры городской застройки стимулирует реконструкцию гражданских и производственных зданий. При этом повышаются требования к надёжности работы строительных конструкций, которые из-за опасных повреждений или перегрузки необходимо усиливать. В значительной степени это относится к железобетонным балкам междуэтажных перекрытий, усиливаемых комбинированными системами из стальных элементов, в том числе с использованием горизонтальных затяжек и промежуточных упругих опор.

Конструкция усиления балки комбинированной системой, разработанная в Пензенском ГУАС (патент РФ №2359094) показана на рис. 1.

Важной особенностью конструкции усиления является возможность варьирования количеством промежуточных упругих опор и положением подвесок системы, в зави-

симости от требуемых эксплуатационных параметров балки: жёсткости и прочности нормального сечения.

Балки в количестве 9 штук, усиленные комбинированной системой, испытывались на силовой установке в лабораторных условиях.

В экспериментах ставилась цель исследовать поведение балок, усиленных комбинированной системой, при различных положениях подвесок, количестве и расположении промежуточных упругих опор, соотношении жёсткостей балки и базового элемента ($m=E_b I_b / E_u I_u$), где E_b , E_u – модуль упругости балки и базового элемента соответственно; I_b , I_u – момент инерции сечений балки и базового элемента соответственно. Кроме того, требовалось изучить характер разрушения усиленных балок.

Балки серии БС1 с размерами 50×100×980 мм усиливались двумя способами: 1) системой с двумя промежуточными упругими опорами и различным положением подвесок, 2) системой с постоянным положением подвесок и различным количеством промежуточных упругих опор. При этом: если была одна промежуточная опора, то размещалась в середине пролёта, если две – то расстояние между ними менялось, а расположение было симметричным относительно середины пролёта.

Балки серии БС2 с размерами 120×220×3000 мм усиливались системой с одной и двумя промежуточными упругими опорами при различных положениях подвесок.

Конструкция усиления балок серий БС-2 показана на рис. 1.

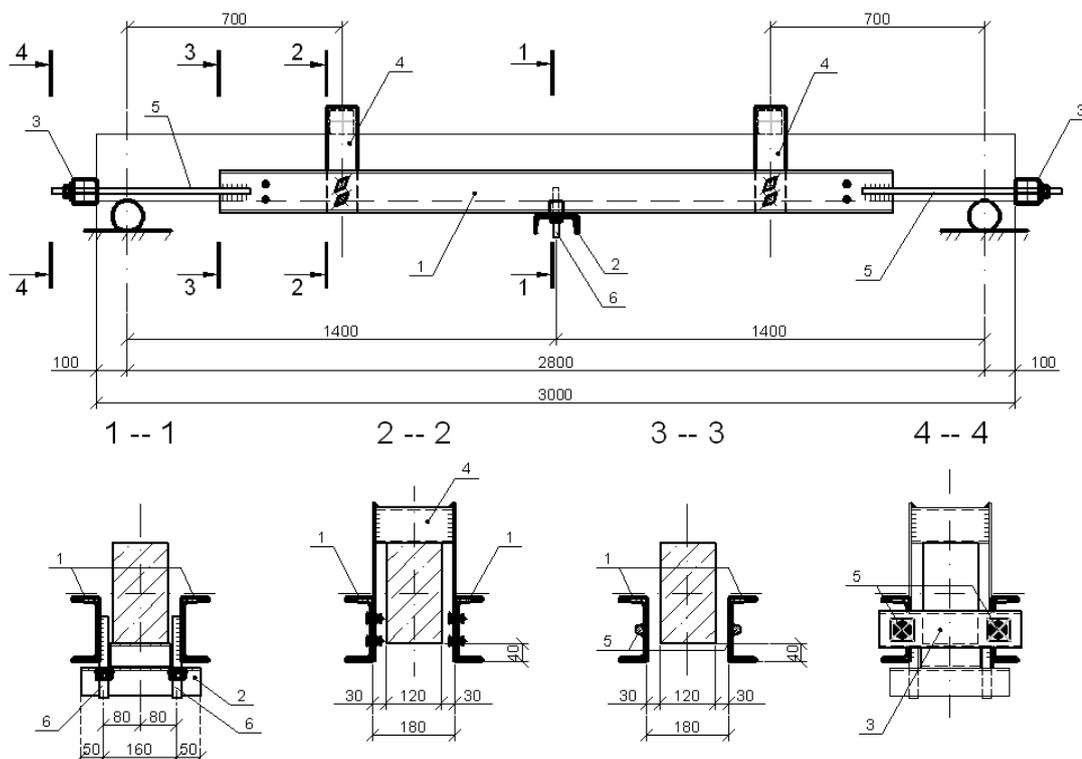


Рис. 1. Конструкция усиления балки серии БС2 комбинированной системой:
1 – базовый элемент (затяжка); 2 – промежуточная опора; 3 – торцевая балка (траверса);
4 – подвеска; 5, 6 – стержни с нарезкой

Для расчёта усиленной балки и определения реакций, возникающих в комбинированной системе, использовался представленный ниже способ, основанный на решении задачи методом сил. Расчёт сводился к нахождению возникающих в промежуточных упругих опорах неизвестных реакций X , уточняемых итерационным путём с учётом нелинейности задачи. Основное и единичные состояния метода сил приведены на рис. 2.

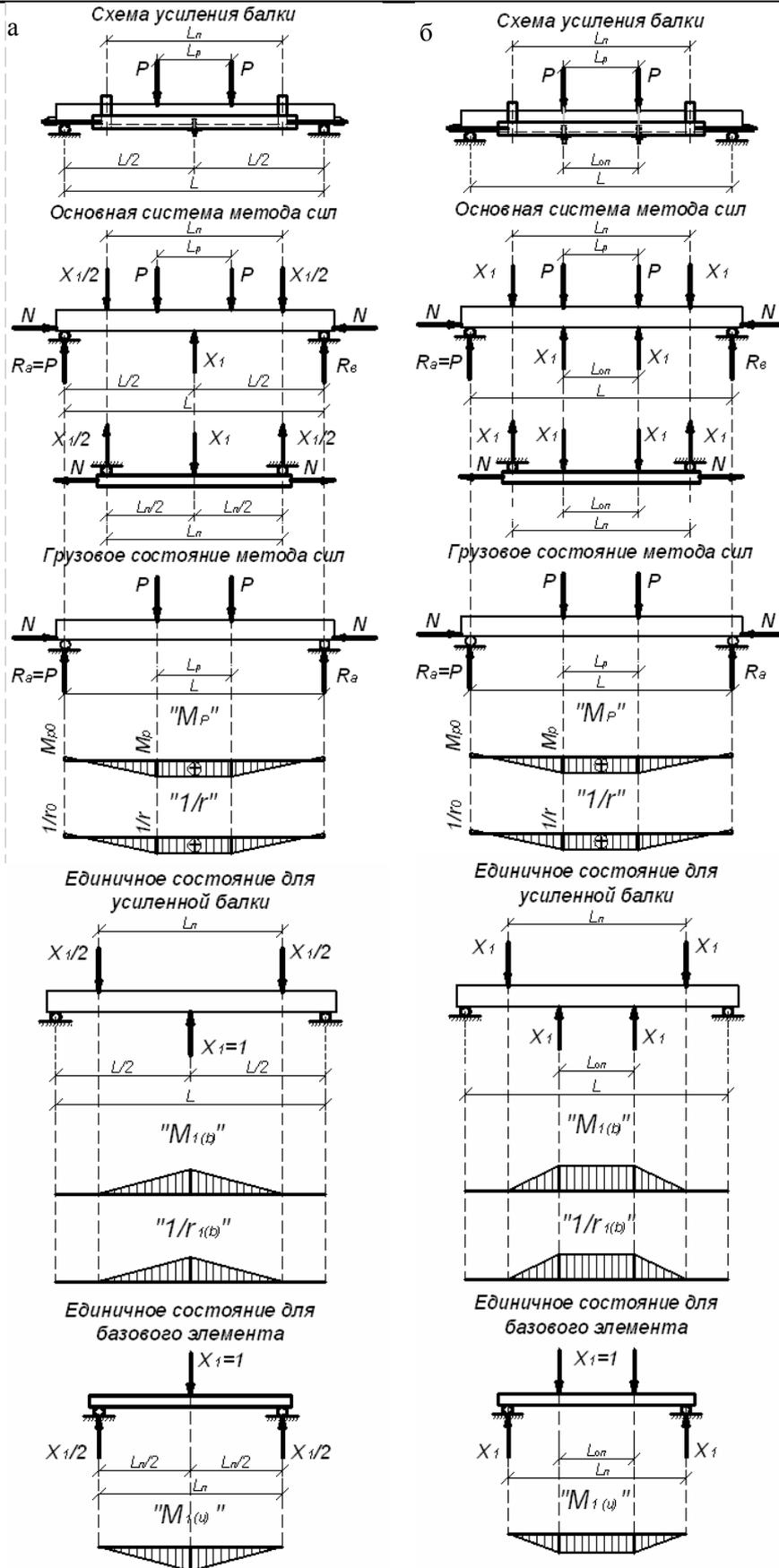


Рис. 2. Основная система метода сил для балки, усиленной комбинированной системой:
 а – с одной промежуточной упругой опорой; б – с двумя промежуточными упругими опорами

Система канонических уравнений метода сил для балок, усиленных комбинированной системой с одной и двумя симметрично расположенными промежуточными упругими опорами, выглядит следующим образом:

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0,$$

$$\delta_{11} = \int_0^{L_u} \frac{M_{1(u)}^2}{E_u I_u} dS + \int_0^L \frac{1}{r_1} M_{1(b)} dS,$$

$$\Delta_{1p} = \int_0^L \frac{1}{r} M_{1(b)} dS,$$

где X_1 – реакция, возникающая в промежуточной опоре; Δ_{1p} – перемещение железобетонной балки по направлению силы X_1 , вызванное внешней нагрузкой; δ_{11} – единичное перемещение от усилия $X_1=1$, складываемое из двух величин – единичных перемещений базового элемента и железобетонной балки; $1/r_1$, $1/r$ – кривизны железобетонной балки от единичного и грузового нагружений соответственно.

Кривизна от грузового нагружения находится по формуле

$$\frac{1}{r} = B_{11} \cdot M + B_{12} \cdot N;$$

здесь M – изгибающий момент, $M = M_{act} \pm P \cdot e_{op}$; N – продольная сила, $N = \pm N_{act} - P$; B_{11} , B_{12} – коэффициенты, используемые при расчёте комбинированной системы с одной и двумя упругими опорами,

$$B_{11} = \frac{1}{(z_s + z_b)^2} \left[\frac{\Psi_b}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \nu'} + \frac{\Psi_s}{E_s A_s} \right], \quad (1)$$

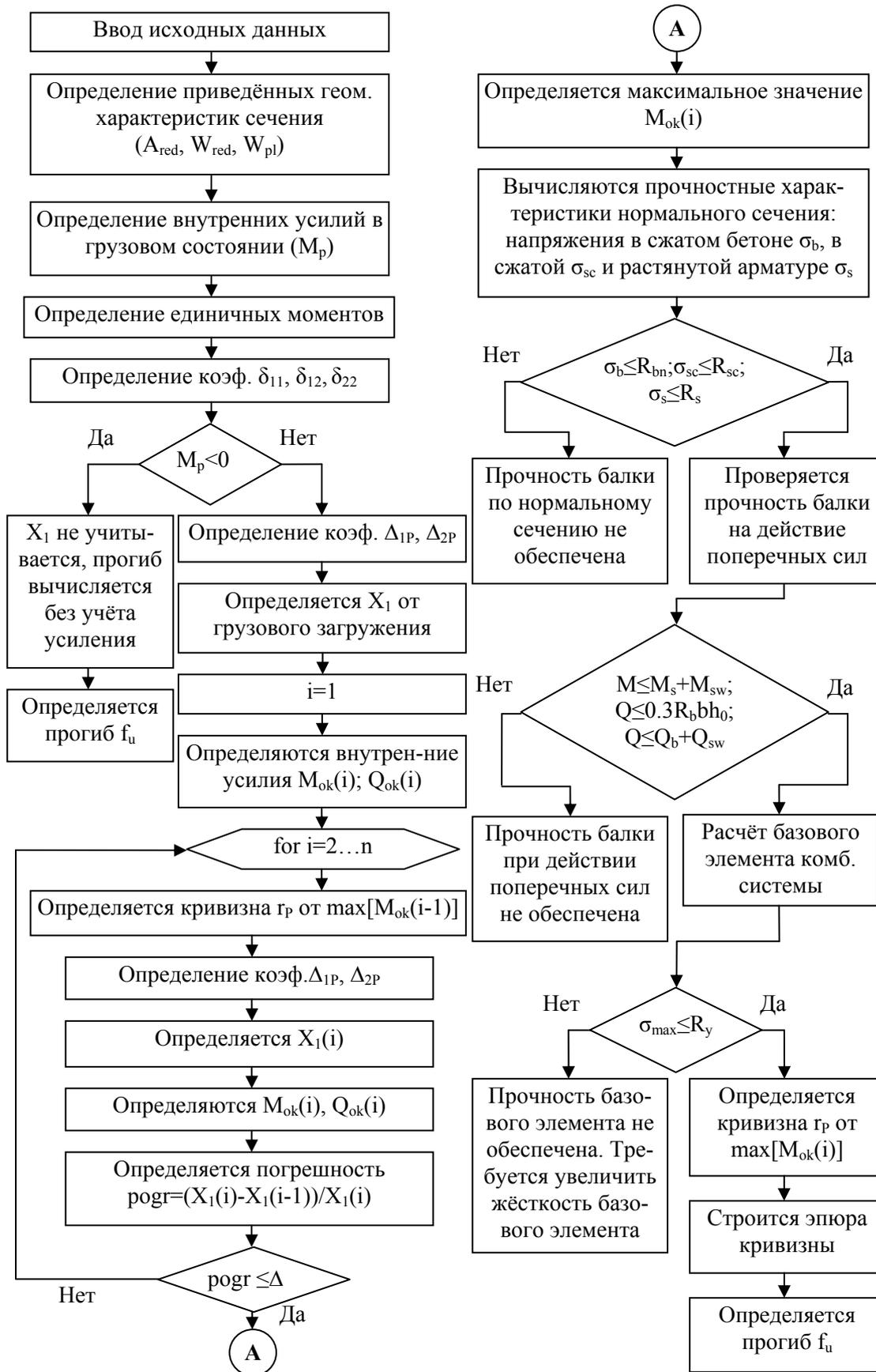
$$B_{12} = \frac{1}{(z_s + z_b)^2} \left[\frac{\Psi_s z_b}{E_s A_s} - \frac{\Psi_b z_s}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \nu'} \right]. \quad (2)$$

Способы нахождения коэффициентов B_{11} , B_{12} приняты в соответствии со СНиП 2.03.01–84*.

Для расчёта балок, усиленных комбинированной системой, разработана программа в среде «Matlab».

Результаты физического и численного экспериментов усиленных балок серий БС1 и БС2 приведены в таблице.

Марка образца	$L_{оп}/L$	L_n/L	Прогиб балки, мм		Коэффициент усиления	
			экспериментальный	теоретический	экспериментальный	теоретический
			f_e	f_t	k_e	k_t
Балки серии БС1						
БС1-1	0,375	1,0	0,88	1,01	2,0	1,7
БС1-2	0,375	0,875	0,93	1,05	1,9	1,61
БС1-3	0,375	0,438	1,15	1,32	1,7	1,5
БС1-4	---	0,875	1,3	1,31	1,8	1,6
БС1-5	---	0,875	0,92	0,98	2,1	1,8
БС1-6	0,75	1,0	1,93	2,18	1,08	1,02
Балки серии БС2						
БС2-1	---	0,5	6,0	5,95	1,9	1,63
БС2-2	---	0,679	5,47	5,58	2,0	1,72
БС2-3	0,286	0,679	10,12	8,3	2,16	1,85



Блок-схема программы расчёта усиленных балок

Из анализа результатов физического и численного экспериментов установлено:

- характер деформирования балок серий БС1 и БС2, усиленных комбинированной системой, при изменении конструктивных параметров в целом сохраняется, при этом значения прогибов при контрольной нагрузке отличаются от значений, полученных в ходе физического эксперимента, не более чем на 18 %, что является приемлемым для инженерных расчётов;
- величины прочности усиленных образцов серий БС1 и БС2 незначительно отличаются от значений, полученных в ходе проведённых испытаний; расхождение расчётных и фактических значений коэффициентов усиления составляет не более 15,5 %;
- экспериментом показано, что прочность и жёсткость усиленных балок существенно зависят от конструктивных параметров комбинированной системы. При смещении подвесок от середины пролёта к основным опорам прочность балки повышается, прогиб снижается. При изменении количества упругих (податливых) опор от одной до трёх и их положения при неизменном расстоянии между подвесками наибольший эффект даёт система с тремя расположенными в четвертях пролёта упругими опорами.

УДК 624.04

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

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

Монахов Владимир Андреевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительная и теоретическая
механика»

Monakhov Vladimir Andreevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Structural and theoretical
mechanics»

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ГРАФА СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ

В.А. Монахов

Предложена методика автоматизированного формирования геометрической матрицы на основе графа стержневой системы в сочетании с матричными преобразованиями векторов перемещений при переходе от локальных систем координат к глобальной. Композиция трёх базовых матриц стержневой системы: матрицы инцидентности графа, характеризующей топологическую структуру расчётной схемы, матрицы длин стержней и матрицы вращения вектора перемещений – полностью решает проблему автоматического построения геометрической матрицы с использованием ПЭВМ. Значимость геометрической матрицы, а в силу статико-геометрической аналогии между усилиями и перемещениями стержневой системы, и статической матрицы в строительной механике общеизвестна.

Ключевые слова: вектор узловых нагрузок, геометрическая матрица, граф рамы, деформации, матрица инцидентности, матрица равновесия, перемещения, стержневая система, усилия.

GEOMETRICAL MATRIX FORMATION ON THE BASIS OF FRAME STRUCTURE GRAPH

V.A. Monakhov

The author offers a method of automatic geometrical matrix formation on the basis of frame system graph in combination with matrix transformation of vector displacement at transition from local system of coordinate to global one. Composition of three basic matrixes of frame system: incidence graph, which characterizes typological structure of the calculated scheme, frames length matrixes and matrix of displacement vectors completely solve the problem of automatic formation of geometrical matrix using computers. The value of geometrical matrix and static matrix due to static and geometrical analogue between efforts and frame system displacement is well known in building mechanics.

Keywords: main load vector, geometric matrix, frame graph, deformation, incidence matrix, equilibrium matrix, displacement, framed system, efforts.

Совокупность уравнений состояния стержневой системы в матричной форме представлена:

- уравнением равновесия

$$[V] \bar{N} = \bar{P}, \quad (1)$$

где $[V]$ – матрица равновесия; \bar{N} – вектор-столбец внутренних усилий в расчётных сечениях (узлах) стержневой системы, куда наряду с изгибающими моментами входят также и продольные силы; \bar{P} – вектор-столбец внешних нагрузок, который содержит не только силы, но и сосредоточенные моменты;

- геометрическими соотношениями

$$\bar{\chi} = [H] \bar{\zeta}, \quad (2)$$

где $\bar{\chi}$ – вектор-столбец сосредоточенных деформаций, как угловых, так и линейных; $[H]$ – геометрическая матрица; $\bar{\zeta}$ – вектор-столбец узловых перемещений;

- физическими зависимостями

$$\bar{N} = [r] \bar{\chi}; \quad (3)$$

здесь $[r]$ – квазидиагональная матрица внутренней жёсткости системы.

На основе уравнений состояния распределение внутренних усилий в любой стержневой системе может быть установлено в одной из форм:

$$\bar{N} = [r][H] \left([H]^T [r] [H] \right)^{-1} \bar{P}, \quad (4)$$

либо

$$\bar{N} = [r][V]^T \left([V][r][V]^T \right)^{-1} \bar{P}, \quad (5)$$

либо

$$\bar{N} = [\Lambda] \bar{P}, \quad (6)$$

поскольку матрицы влияния внутренних усилий $[\Lambda]$, равновесия системы $[V]$ и геометрическая матрица $[H]$ в силу принципа двойственности связаны между собой

$$[H]^{-1} = \left([V]^T \right)^{-1} = \left([V]^{-1} \right)^T = [\Lambda]^T. \quad (7)$$

Таким образом, усилия в стержневой системе можно считать установленными, если удалось сформировать хотя бы одну из трёх указанных матриц [1].

Перемещения стержневых систем, представленные вектор-столбцом узловых перемещений $\bar{\zeta}$, находят по формуле

$$\bar{\zeta} = [\Delta] \bar{P}, \quad (8)$$

где $[\Delta]$ – матрица внешней податливости,

$$[\Delta] = [\Lambda]^T [\delta] [\Lambda]; \quad (9)$$

здесь $[\delta] = [r]^{-1}$ – матрица внутренней податливости.

Очевидно, что при определении перемещений рамы по (8) используются всё те же матрицы $[\Lambda]$, $[V]$ и $[H]$.

Перечисленные уравнения состояния упругой стержневой системы (1)–(9) полностью характеризуют её напряжённо-деформированное состояние.

Как известно, при расчёте балок наиболее просто формируется матрица влияния усилий $[\Lambda]$ для консольных балок или равновесия $[V]$ – для шарнирно опёртых. Поэтому эти матрицы обычно используются в программах расчёта балок.

Для рам в некоторых случаях возможно применение матрицы влияния $[\Lambda]$. Однако в общем случае в качестве базовой матрицы при расчёте рам целесообразно воспользоваться геометрической матрицей $[H]$, т.к. её формирование происходит проще, чем матрицы влияния или равновесия. Процедура построения матрицы $[H]$ осуществляется на базе матрицы инцидентности графа рамы с привлечением матричных преобразований векторов перемещений и поэтому может быть выполнена в автоматическом режиме. Далее в статье приводится алгоритм формирования геометрической матрицы на примере расчёта рамы, показанной на рис. 1.

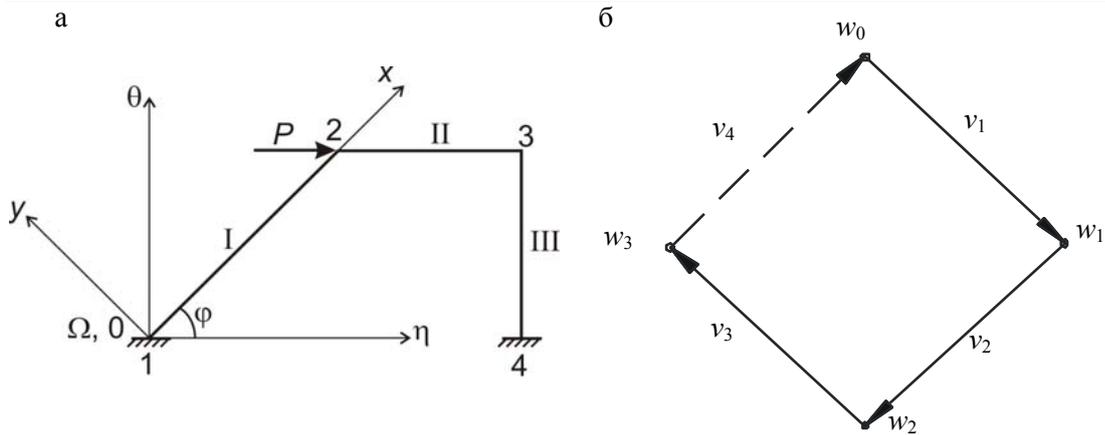


Рис. 1

В рассматриваемом случае вектор $\bar{\zeta}$ узловых (линейных) перемещений рамы (включая и перемещения опор) содержит восемь компонент $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_8$ (рис. 2). Связав, как обычно, локальные системы координат с элементами рамы, с помощью матриц вращения векторов перемещений отдельного элемента

$$[\Psi_i] = \begin{bmatrix} [\varphi_i] & \vdots & 0 \\ \dots & \vdots & \dots \\ 0 & \vdots & [\varphi_i] \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где

$$[\varphi_i] = \begin{bmatrix} \cos \varphi_i & \sin \varphi_i \\ -\sin \varphi_i & \cos \varphi_i \end{bmatrix} \quad (i = 1, 2, 3),$$

нетрудно осуществить переход от глобальных перемещений $\bar{\zeta}$ к локальным

$$\bar{Z}_i = [\Psi_i] \bar{\zeta}_i \quad (i = 1, 2, 3).$$

В целом, для рамы преобразование перемещений имеет вид

$$\bar{Z}_{(12)} = [\Psi]_{(12 \times 8)} \bar{\zeta}_{(8)},$$

где $\bar{Z} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_{12})$ – вектор-столбец локальных перемещений узлов;

$$[\Psi]_{(12 \times 8)} = \begin{bmatrix} [\Psi_1] & 0 & 0 \\ 0 & [\Psi_2] & 0 \\ 0 & 0 & [\Psi_3] \end{bmatrix} -$$

квазидиагональная матрица преобразования перемещений системы.

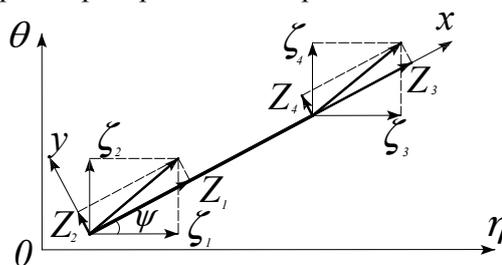


Рис. 2

В частности, для первого элемента (стержня), угол наклона которого $\varphi_1 = \pi/4$, матрица (10) принимает вид

$$[\Psi_1] = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,71 & 0,71 \\ -0,71 & 0,71 \end{bmatrix} & \\ & \begin{bmatrix} 0,71 & 0,71 \\ -0,71 & 0,71 \end{bmatrix} \end{bmatrix}.$$

Для второго элемента (при $\varphi_2 = 0$) преобразование является тождественным и матрица $[\Psi_2]$ – единичной, поскольку она составлена из блок-матриц $[\varphi_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$.

Преобразование перемещений третьего стержня ($\varphi_3 = -\pi/2$) осуществляется аналогично.

Деформированное состояние стержневой системы в локальной системе координат определяется величинами перекосов:

$$\gamma_1 = Z_4 - Z_2, \quad \gamma_2 = Z_8 - Z_6, \quad \gamma_3 = Z_{12} - Z_{10}$$

и удлинений стержней: $\lambda_1 = Z_3 - Z_1, \quad \lambda_2 = Z_7 - Z_5, \quad \lambda_3 = Z_{11} - Z_9$.

Если ввести в рассмотрение вектор-столбец приращений перемещений $\bar{\chi} = (\lambda_i, \gamma_i)^T$ ($i = 1, 2, 3$), проекциями которого являются перекосы и удлинения, а также расширенную транспонированную матрицу инцидентности графа рамы

$$[S]^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

то матричное преобразование вида

$$\bar{\chi} = [S]^T \bar{Z} \quad (11)$$

позволит выразить указанный вектор через перемещения узлов, фиксированные в локальных системах координат. Следует заметить, что расширенная матрица инцидентности действительно является «расширением» (за счёт нулей, вставленных между значащими элементами, и дополнительных строк) стандартной матрицы инцидентности графа рассматриваемой рамы

$$[S_0] = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}.$$

В отличие от расширенной матрицы инцидентности в обозначении стандартной матрицы инцидентности используется индекс «ноль».

На втором этапе, принимая во внимание преобразование (10), на основе (11) несложно установить зависимость приращений перемещений от перемещений в глобальной системе в виде

$$\bar{\chi}_{(6)} = [\Gamma]_{(6 \times 8)} \bar{\zeta}_{(8)},$$

где $[\Gamma]_{(6 \times 8)} = [S]_{(6 \times 12)}^T [\Psi]_{(12 \times 8)}$. Пренебрегая влиянием продольных сил при определении внутренних усилий, в матрице $[\Gamma]$ и векторе $\bar{\chi}$ следует опустить нечётные строки и компоненты. Обозначив новую матрицу через $[G]$, сохранив при этом за вектором $\bar{\chi}$, содержащим теперь только перекосы, прежнее обозначение, вычисляем приращения углов наклона стержней в зависимости от перемещений узлов, заданных в глобальной системе координат:

$$\bar{\chi}_{(3)} = [G]_{(3 \times 8)} \bar{\zeta}_{(8)}. \quad (12)$$

Для того чтобы определить деформации изгиба отдельных стержней, достаточно найти отношение перекоса к длине соответствующего стержня

$$\bar{\kappa} = [L]^{-1} \bar{\chi}. \quad (13)$$

Диагональная матрица длин стержней $[L]$, как и матрица направляющих косинусов стержней, определяются на основе матриц инцидентности и координат узлов [2].

Сосредоточенные изгибные деформации стержней в узлах находят путём умножения вектора $\bar{\chi}$ на матрицу инцидентности

$$\delta \bar{\kappa} = [S_0] \bar{\chi}.$$

С учётом равенств (12) – (13) вектор $\delta \bar{\kappa}$ можно выразить через узловые перемещения узлов $\bar{\zeta}$

$$\delta \bar{\kappa} = [S_0][L]^{-1}[G]\bar{\zeta}.$$

Таким образом, вычисление деформаций рамы осуществляется с помощью преобразования

$$\delta \bar{\kappa} = [H] \bar{\zeta},$$

где матрица

$$[H] = [S_0][L]^{-1}[G],$$

являющаяся композицией трёх матриц, носит название геометрической матрицы.

Полученное выражение легко программируется, и потому формирование геометрической матрицы стержневой системы можно выполнять в автоматическом режиме с помощью ПЭВМ.

Список литературы

1. Ржаницын, А.Ф. Расчёт стержневых систем с применением принципа двойственности / А.Ф. Ржаницын // Исследования по теории сооружений. – 1980. – Вып. XXIV. – С. 10–23.
2. Рекша, В.В. Применение теории графов в матричной форме метода перемещений / В.В. Рекша // Строительная механика и расчет сооружений. – 1971. – № 1. – С. 33–35.

References

1. Rzhantsin, A.F. Road system calculation using the principle of duality / A.F. Rzhantsin // Researches on the theory of structure. – 1980. – Issue XXIV. – P. 10–23.
2. Reksha, V.V. Application of group theory in matrix form of displacement method / V.V. Reksha // Structural mechanics and calculation of buildings. – 1971. – №1. – P. 33–35.

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

Вдовин Вячеслав Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
Мухаев Александр Иванович,
старший преподаватель кафедры
«Экспертиза и управление
недвижимостью»
E-mail: alexir-m@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

Vdovin Vyacheslav Mihailovich,
Candidate of Sciences, Professor of the
department «Building construction»
Mukhaev Alexander Ivanovic,
Senior lecturer of the department
«Examination and management of real estate»
E-mail: alexir-m@mail.ru

ВКЛЕЕННЫЕ ЦЕНТРОВЫЕ ШПОНКИ В СОЕДИНЕНИЯХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.М. Вдовин, А.И. Мухаев

Приводятся результаты испытаний соединений деревянных конструкций на клеенных центровых шпонках и даны нормативные и расчётные величины предельных нагрузок на центровую шпонку. Представлены рекомендации по расчёту предлагаемых видов соединений.

Ключевые слова: деревянные конструкции, соединения, клей, металлическая шпонка, нагрузка.

PIVOTAL PINS GLUED IN TIMBER STRUCTURES JOINTS

V.M. Vdovin, A.I. Muhaev

The results of timber structure compounds tests on glued pivotal pins are given. Besides the authors present normative and the calculated values of limit loads on the central feather. A guidance to the calculation of the proposed types of compounds is provided.

Keywords: wooden structures, compounds, adhesives, metal pin, load.

Механические связи, по существу, преобладают в соединениях деревянных конструкций. Из большого их разнообразия особое место занимают различного вида шпонки. Практически все виды соединений на шпонках обладают высокой несущей способностью с преобладанием работы древесины на смятие (сжатие). Как правило, изготовление шпоночных соединений не отличается особой сложностью и является доступным как в условиях заводской технологии, так и в построечных условиях.

В начале прошлого столетия достаточно широко применялись в соединениях деревянных конструкций кольцевые и зубчатые шпонки: когтевая Леннова; кольцевая типа «Апель»; тарельчатая типа «Христон»; когтевая система «Фрис и Нельсона»; двусторонняя зубчато-кольцевая Котова; двусторонняя и односторонняя типа «Гека» и др. Однако с появлением клеевых соединений роль этих шпоночных соединений снизилась. Впоследствии применение их стало нерациональным и даже не рекомендуемым строительными нормами. Причинами такого явления явилось то, что несмотря на явные достоинства каждый из видов шпоночных соединений имел и определённые недостатки. К основным недостаткам многих центровых шпонок относятся повышенная деформативность, особенно на первых этапах нагружения, и технологические сложности обеспечения точности изготовления в многорядных соединениях. Кроме того, в зубчатых и когтевых шпонках возникает опасность растрескивания в процессе опрессовки, что снижает их несущую способность и надёжность в работе. Всё это активизирует поиск всё более новых, совершенных типов шпонок для соединения деревянных конструкций.

В [1] даётся один из путей совершенствования соединений на кольцевых металлических шпонках, в своё время широко применяемых при изготовлении различных узловых и стыковых сопряжений элементов сквозных несущих деревянных конструкций. Недостатки обычных соединений на кольцевых шпонках, благодаря предложениям авторов [1], устранены и предложены более совершенные соединения на клеенных кольцевых шпонках (ККШ). Вклеивание металлических кольцевых шпонок в гнезде соединяемых деревянных элементов, позволило значительно повысить несущую способность, устранить начальную и снизить последующую деформативность соединений. Как показали исследования [1], несущая способность, благодаря вклеиванию шпонок в гнездо соединяемых деревянных элементов, повышается более чем на 30 % (в 1,37 раза).

Однако ограниченностью соединений на ККШ является то, что они могут выполняться только в заводских условиях в процессе изготовления самой несущей конструкции. Это связано с тем, что кольцевая шпонка на половину своей ширины вставляется в один соединяемый элемент, а другая её половина должна располагаться в другом элементе. Практика строительства нуждается в соединениях сборно-разборных, выполняемых в процессе сборки в условиях строительной площадки. В таких случаях целесообразно применять центровые шпонки, которые могут передавать усилие через центровой соединительный болт, причем для передачи усилия от болта на деревянный элемент воспользоваться гладкой кольцевой шпонкой.

На рис.1 показан общий вид центровой вклеенной кольцевой шпонки (ЦККШ).

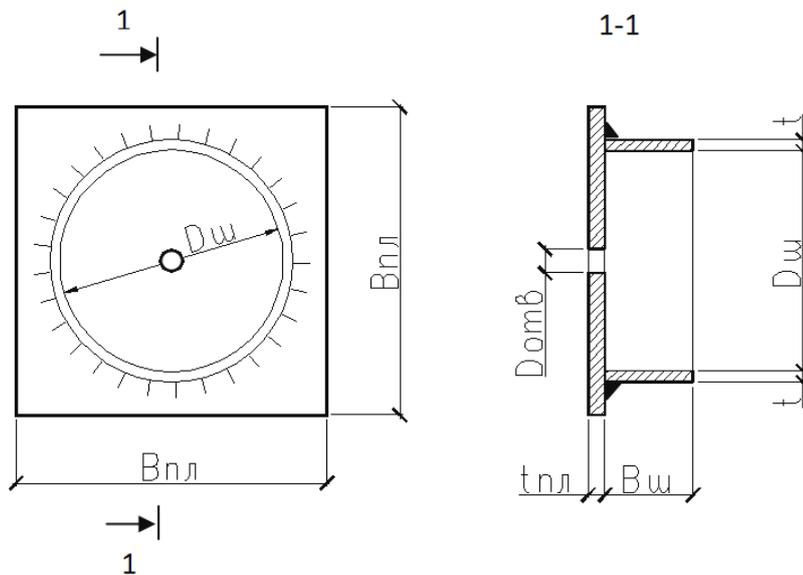


Рис.1. Общий вид центровой клее-кольцевой шпонки (ЦККШ)

В основе ЦККШ лежит гладкая кольцевая шпонка, к которой с одной стороны приварена квадратная стальная пластинка, снабженная посередине своей площади круглым отверстием для пропуска центрового соединительного болта. Соединение на ЦККШ обладает достоинствами кольцевых шпонок и клеев и одновременно исключает их недостатки. Вклеенная кольцевая шпонка обладает сравнительно высокой несущей способностью, повышенной надёжностью, а также простотой изготовления и сборки соединяемых элементов. При этом центровая шпонка вклеивается в гнездо в процессе изготовления соединяемой заготовки в заводских условиях, т.е. до выполнения самого соединения, а соединение может собираться в условиях строительной площадки. Таким образом, соединение является сборно-разборным.

В [2] и [3] приведены некоторые предварительные результаты испытаний соединений на ЦККШ при определённых ограниченных параметрах шпонок и соединяемых элементов. В данной статье приводятся результаты более обширных испытаний и оценка этих результатов. Программа испытаний включала в себя исследование влияния на работу соединения на ЦККШ таких факторов, как диаметр шпонок ($D_{шп}$), тол-

щина и ширина кольца шпонки ($t_{шп}$, $b_{шп}$), шага расстановки шпонок в образце (S_1, S_2), наличие (или отсутствие) клеевой композиции и др. Особое исследование было посвящено изучению влияния на несущую способность соединения угла между линией действующего усилия и направлением волокон древесины соединяемых элементов.

Общий вид испытываемых образцов приведен на рис.2, где указаны основные параметры ЦККШ и соединяемых элементов.

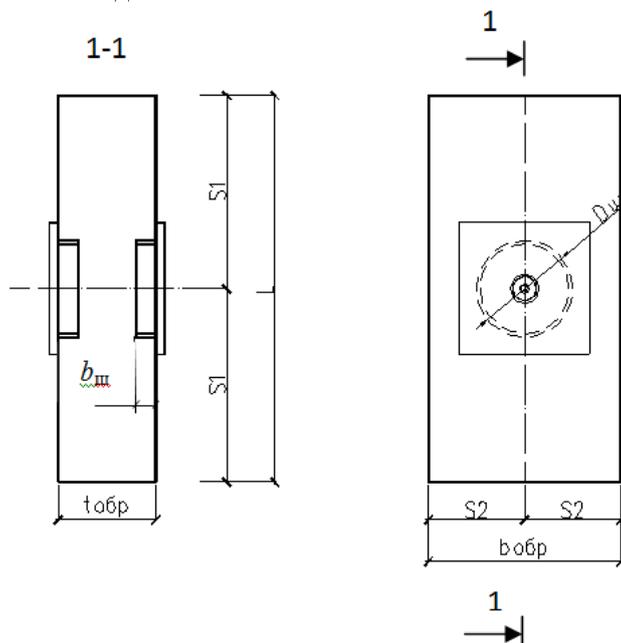


Рис.2. Общий вид и основные параметры испытываемых образцов на ЦККШ

Для испытаний были приняты ЦККШ с диаметрами кольцевых шпонок 50 мм, 60 мм, 75 мм, 100 мм и шириной кольца $b_{шп} = 20$ мм и 30 мм. Большую ширину кольца принимать не следует, т.к. это приводит к чрезмерному ослаблению соединяемых деревянных элементов. Толщина кольца принималась равной $t_{шп} = 2$ мм, что обусловлено удобством гнутья вырезанной металлической полосы. Часть образцов была выполнена с применением кольца для ЦККШ, вырезанного из цельной трубы. В качестве клеевой композиции применялся клей марки ФР-12.

Образцы испытывались на сдвиг при сжатии. Передача нагрузки на ЦККШ осуществлялась посредством стальной рамы (рис.3а), а также через примыкаемые по бокам смежные элементы (рис.3б).

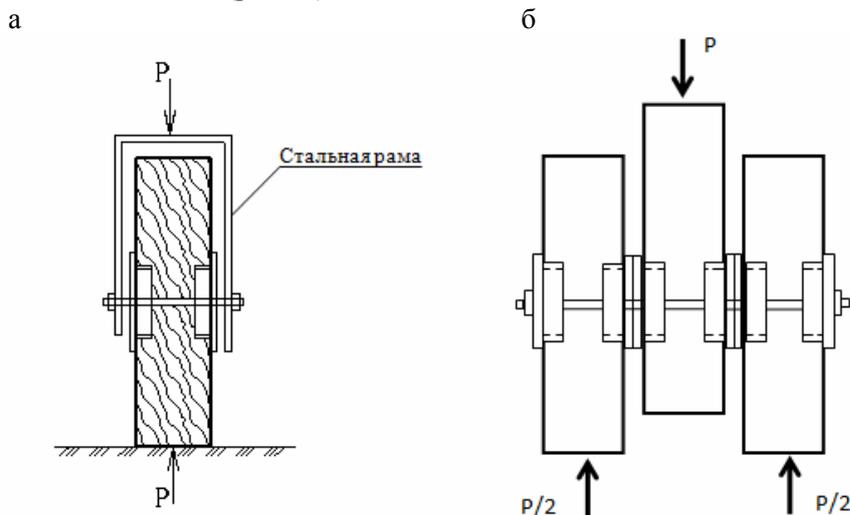


Рис.3 Схема передачи нагрузки на образец:
а – через стальную раму; б – через смежные боковые элементы

В процессе испытаний фиксировались действующая нагрузка и сдвиговые деформации образцов. Для измерения деформаций сдвига использовались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Нагрузка создавалась гидравлическим прессом и прикладывалась ступенями. Величина ступеней нагружения принималась равной примерно $\Delta P = 0,1 \cdot P_{\text{разр}}$. Всего было испытано более 100 образцов, в каждой партии испытывалось не менее 5 образцов. Для оценки влияния клеевой прослойки на предельную нагрузку часть образцов в отдельных сериях испытывалась со свободно вставленными в гнездо центровыми шпонками, т.е. без клея.

Осреднённые показатели по предельной (разрушающей) нагрузке для различных серий образцов, при действии кратковременной нагрузки вдоль волокон древесины, приведены в табл. 1. Для образцов, испытанных действием силы под углом к волокнам, результаты опубликованы на стр. 102–106. В табл.1 приведены также и характеристики статистической обработки результатов, а также максимальные деформации сдвига. Образцы, испытанные без введения в гнездо клеевой композиции, в табл.1 отмечены значком *.

Т а б л и ц а 1

Результаты испытаний соединения на ЦККШ при передаче нагрузки вдоль волокон древесины

№ п/п	Серия образцов	Размеры шпонки, мм		Статистические характеристики					Среднее значение деформаций при условной нормальной нагрузке, мм
		$D_{\text{шп}}$	$b_{\text{шп}}$	Средняя величина разрушающей нагрузки P^{cp} , кН	σ	m	$C_v, \%$	$p, \%$	
1.	2ЦККШ-50	50	2	67,22	9,60	4,29	14,282	6,387	2,25
2.	2ЦККШ-60	60	2	92,8	10,85	4,85	11,691	5,228	3,45
3.	3ЦККШ-60	75	3	120,64	5,69	2,54	4,713	2,108	2,90
4.	2ЦККШ-75	100	2	111,64	5,72	2,56	5,120	2,290	3,60
5.	3ЦККШ-75	60	3	136,2	8,16	3,65	5,989	2,678	2,70
6.	2ЦККШ-100	75	2	129,14	8,70	3,89	6,734	3,011	3,75
7.	3ЦККШ-100	100	3	165,38	8,50	3,80	5,138	2,298	4,50
8.	2ЦККШ-50*	50	2	50,4	3,01	1,74	5,964	3,443	5,0
9.	2ЦККШ-60*	60	2	74,8	0,97	0,56	1,293	0,746	5,0
10.	2ЦККШ-75*	75	2	80,3	4,86	2,81	6,057	3,497	5,90
11.	2ЦККШ-100*	100	2	100,8	4,65	2,69	4,617	2,666	6,45

На рис.4 показан график зависимости средней разрушающей нагрузки P_{cp} от диаметра шпонки $D_{\text{шп}}$ и от ширины шпонки $b_{\text{шп}} = 20$ мм и $b_{\text{шп}} = 30$ мм.

По рис.4 видно, что разрушающая нагрузка на образец существенно зависит от параметров шпонки $D_{\text{шп}}$ и $b_{\text{шп}}$. С увеличением диаметра $D_{\text{шп}}$ и ширины $b_{\text{шп}}$ разрушающая нагрузка на образец увеличивается. Введение клея в образец способствует росту предельной нагрузки. Так, для шпонок шириной 20 мм это увеличение составляет:

$$\text{при } D_{\text{шп}} = 50 \text{ мм} - K_{50} = \frac{67.2}{50.4} = 1.333 ;$$

$$\text{при } D_{\text{шп}} = 60 \text{ мм} - K_{60} = \frac{92.8}{74.8} = 1.24 ;$$

$$\text{при } D_{\text{шп}} = 75 \text{ мм} - K_{75} = \frac{111.64}{80.3} = 1.39 ;$$

$$\text{при } D_{\text{шп}} = 100 \text{ мм} - K_{100} = \frac{129.1}{100.8} = 1.28 .$$

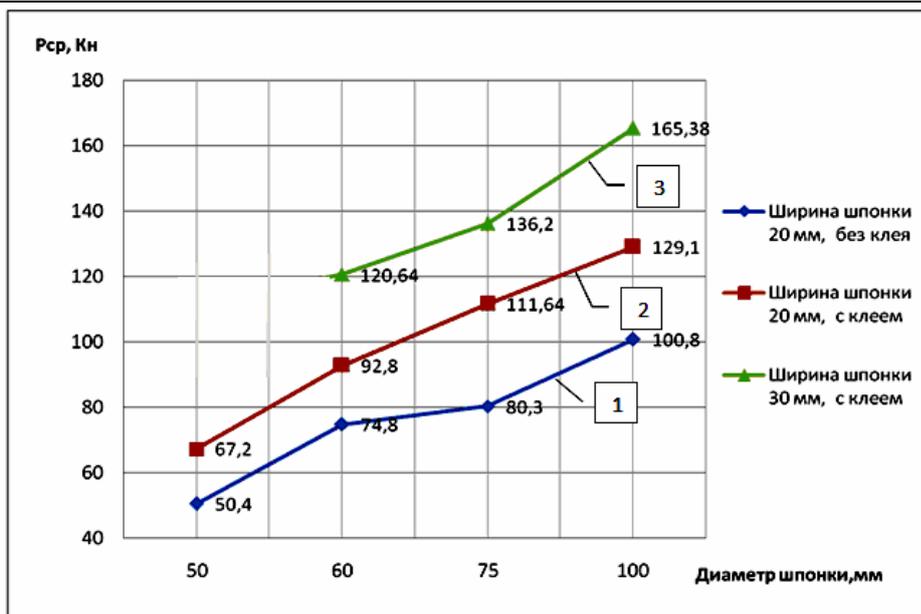


Рис.4. Зависимость разрушающей нагрузки $P_{разр}$ от диаметра $D_{шп}$ и от ширины кольца $b_{шп}$: 1 – для шпонок $D_{шп}$ (50,60,75,100 мм) и $b_{шп}=20$ мм без клея; 2 – для шпонок $D_{шп}$ (50,60,75,100 мм) и $b_{шп}=20$ мм с клеем; 3 – для шпонок $D_{шп}$ (60,75,100 мм) и $b_{шп}=30$ мм с клеем

Среднее увеличение предельной нагрузки за счет введения клеевой композиции составляет $K=1,31$, т.е. более чем на 30%. Однако с введением клея в соединение важно не только увеличение предельной нагрузки на шайбу, не менее ценным является уменьшение деформативности, особенно в начальный момент нагружения. Работа соединения по ЦККШ в начальные этапы нагружения практически приближается к монолитному. Рост деформаций сдвига в соединениях показан на рис.5 и на рис.6.

Графики на рис.5 и 6 построены по средним показателям результатов испытаний группы образцов в серии. Как видно из графиков, нарастание деформаций сдвига в соединениях с клеевой композицией значительно меньше, чем в образцах без клея.

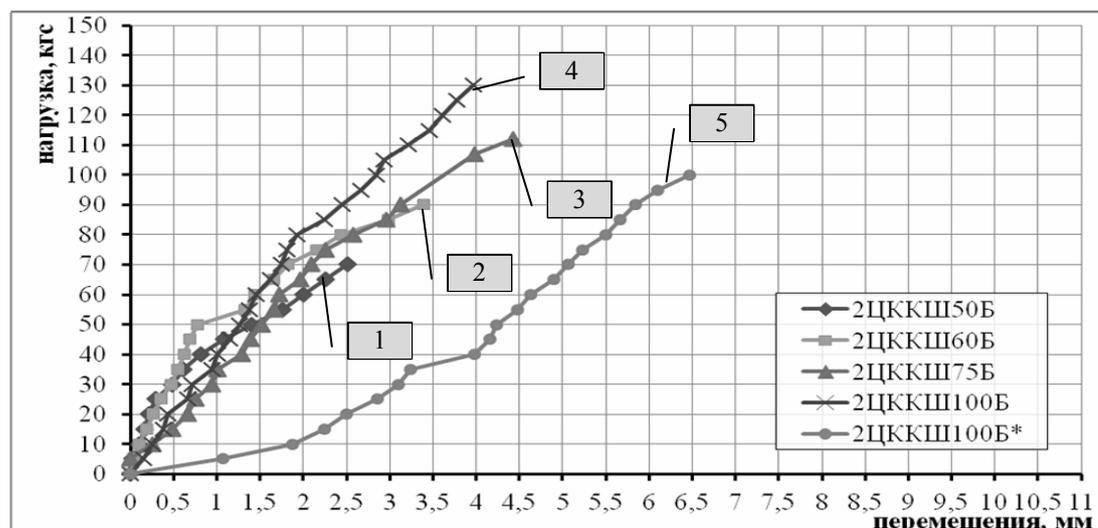


Рис.5. Нарастание сдвигов в образцах серии 2ЦККШ при передаче усилий вдоль волокон: 1 – образец 2ЦККШ-50Б; 2 – образец 2ЦККШ-60Б; 3 – образец 2ЦККШ-75Б; 4 – образец 2ЦККШ-100Б; 5 – образец 2ЦККШ-100Б*

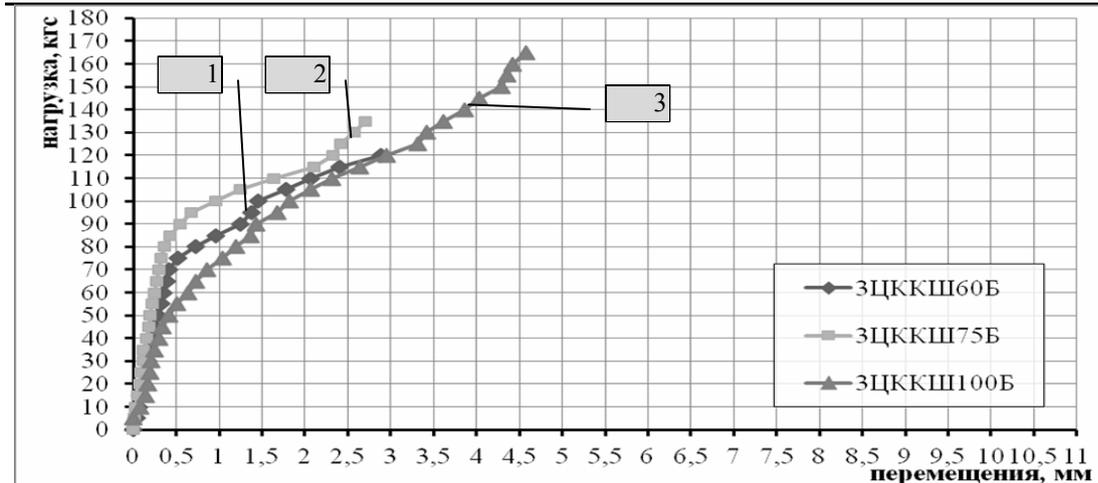


Рис.6. Нарастание сдвигов в образцах серии 3ЦККШ при передаче усилий вдоль волокон: 1 – образец 3ЦККШ-60Б; 2 – образец 3ЦККШ-75Б; 3 – образец 3ЦККШ-100Б

В табл.2 представлены нормативные и расчетные величины предельных нагрузок для соединений на ЦККШ при действии кратковременных нагрузок, вычисленные на основе данных, приведенных в табл.1. Коэффициенты надежности при этом подсчитаны с доверительной вероятностью для нормативных значений – 95 %, а для расчетных – 99 %. Величины вероятностной части коэффициентов надежности подсчитывались как

$$K_n = \frac{1}{1-1,67C_v} \text{ и } K_p = \frac{1}{1-2,33C_v}.$$

Т а б л и ц а 2

Нормативные и расчетные величины предельных нагрузок соединений на ЦККШ

Серия образцов	Средняя разрушающая нагрузка P , кН	Коэффициент вариации C_v	Коэффициенты		Нормативные величины P^H , кН	Расчетные величины P , кН
			K_n	K_p		
2ЦККШ-50	67,22	0,14282	1,313	1,499	51,19	44,85
2ЦККШ-60	92,8	0,11691	1,243	1,374	74,68	67,52
3ЦККШ-60	120,64	0,04713	1,085	1,123	111,14	107,39
2ЦККШ-75	111,64	0,05120	1,093	1,135	102,09	98,32
3ЦККШ-75	136,2	0,05989	1,111	1,162	122,58	117,19
2ЦККШ-100	129,14	0,06734	1,127	1,186	114,62	108,88
3ЦККШ-100	165,38	0,05138	1,094	1,136	151,19	145,58

Величина коэффициентов K_p , как видно из табл.2, колеблется в пределах от 1,123 до 1,499, что мало отличается от общепринятых значений для деревянных конструкций ($K=1,42$) и от значений, учитываемых при прогнозировании надежности новых видов соединений деревянных конструкций ($K=1,57$).

Определенный интерес вызывает сравнение работы соединений на ЦККШ и на ККШ (вклеенные кольцевые шпонки). В табл. 3 приводятся данные результатов испытаний образцов с одинаковыми параметрами кольцевой шпонки, т.е. одинаковые диаметры и ширина $D_{шп}=20$ мм.

Т а б л и ц а 3

Вид соединения	Средняя величина предельной нагрузки, кН, при диаметре $D_{шп}$, равном			
	50 мм	60 мм	75 мм	100 мм
ЦККШ	67,2	92,8	111,64	129,10
ККШ	58,8	72,6	83,0	106,8

Данные по ККШ заимствованы из [1].

Нетрудно заметить, что соединения на ЦККШ при одинаковых параметрах кольца обладают повышенной несущей способностью по сравнению с ККШ. Это увеличение достаточно заметное и составляет почти 25 %.

Объяснением такого явления может служить то, что в соединении на ККШ половина ширины кольца находится в одном соединяемом элементе, а вторая половина – в другом. В то время как в ЦККШ усилие передается по всей ширине кольца, поскольку кольцо находится полностью в соединяемом деревянном элементе.

Таким образом, как показали испытания, предлагаемое новое соединение деревянных конструкций на центровых клеенных кольцевых шпонках обладает существенными преимуществами перед другими видами соединений, применяемыми в практике изготовления деревянных конструкций, а именно: повышенной несущей способностью, монолитностью, меньшей деформативностью, компактностью (небольшой контактной площадью соединяемых элементов), технологичностью, сборностью. Это позволяет данному виду соединения успешно применяться в таких несущих деревянных конструкциях, как фермы, сквозные рамы, арки, при выполнении узлов и стыков стержневых элементов.

Список литературы

1. Вдовин, В.М. Клеенные кольцевые шпонки в соединениях деревянных конструкций / В.М. Вдовин, В.Н.Карпов, М.С. Галахов. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 171 с.
2. Вдовин, В.М. Соединение на клеенных кольцевых центровых шпонках / В.М. Вдовин, А.И. Мухаев // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей – Пенза: Приволжский дом знаний, 2002.
3. Вдовин, В.М. Исследование работы соединений на центровых клеекольцевых шпонках при передаче усилий под углом и волокнам древесины / В.М. Вдовин, А.И. Мухаев, В.Л. Ишкин // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб. статей. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2004.

References

1. Vdovin, V.M. Ring dowel glued in timber structures joints / V.M. Vdovin, V.N. Karpov, M.S. Halachov. – Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2011. – 171 p.
2. Vdovin, V.M. The connection to the bonded ring pivot key / V.M. Vdovin, A.I. Muhaev // Efficient building design: theory and practice: collection of articles. – Penza: Volga house of knowledge, 2002.
3. Vdovin, V.M. The study of the compounds on the pivot kleekoltseyvkh shponkah transfer efforts at an angle and wood fibers / V.M. Vdovin, A.I. Muhaev, V.L. Ishkin. // Efficient building design: theory and practice: collection of articles. – Penza: Volga house of knowledge, 2004.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Вдовин Вячеслав Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

Мухаев Александр Иванович,
старший преподаватель кафедры
«Экспертиза и управление
недвижимостью»
E-mail: alexir-m@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

Vdovin Vyacheslav Mihailovich,
Candidate of Sciences, Professor of the
department «Building construction»

Mukhaev Alexander Ivanovic,
Senior lecturer of the department
«Examination and management of real estate»
E-mail: alexir-m@mail.ru

РАБОТА СОЕДИНЕНИЯ НА ЦЕНТРОВЫХ ВКЛЕЕННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ШПОНКАХ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИМИ НАГРУЗКИ ПОД УГЛОМ К ВОЛОКНАМ ДРЕВЕСИНЫ

В.М. Вдовин, А.И. Мухаев

Приводятся результаты испытаний соединений деревянных конструкций на клеенных под углом к волокнам древесины центровых шпонках, получены нормативные и расчётные величины предельных нагрузок на центровую шпонку. Даются рекомендации по расчёту предлагаемых видов соединений.

Ключевые слова: деревянные конструкции, соединения, клей, металлическая шпонка, нагрузка.

CONNECTION WORK ON THE PIVOT RING GLUED DOWELS WHEN THEIR LOAD IS SPREAD OVER THE WOOD FIBERS AT THE ANGLE

V.M. Vdovin, A.I. Muhaev

The authors give the tests results of woodstructure connections on pivot ring glued to wood fibres at the angle, they have got normative and colculated values of limit loads on the central feather. Besides some recommendations on the offered types of connections calculation are given.

Keywords: wooden structures, compounds, adhesives, metal key, load.

В практике эксплуатации несущих деревянных конструкций наблюдается соосная передача усилий по отношению к главным осям ортотропии древесины, что приводит к снижению несущей способности элементов и соединений. Это можно наблюдать во всех узлах сквозных ферм, арок, рам, а также в узловых и стыковых сопряжениях пространственных и других видов несущих конструкций.

В [1] приведены предварительные результаты испытаний соединений деревянных элементов на центровых клеенных кольцевых шпонках. Однако представленные результаты получены при испытании ограниченного количества образцов, причем только для двух диаметров кольцевых шпонок. Кроме того, для их обработки не применялись методы математической статистики.

Учитывая важность знания вопроса о степени снижения предельной нагрузки на клеенную кольцевую центровую шпонку при передаче ей усилий под углом к

волокнам древесины соединяемых элементов, проделаны масштабные испытания на большем количестве образцов при разнообразии диаметров кольцевых шпонок.

С целью получения более достоверных результатов были проведены экспериментальные исследования. Общий вид образцов, подвергаемых испытанию и выполненных с применением центровых кольцевых шпонок, приведен на рис.1, здесь же показаны основные параметры, учитываемые при оценке результатов испытаний, поскольку их влияние достаточно существенное.

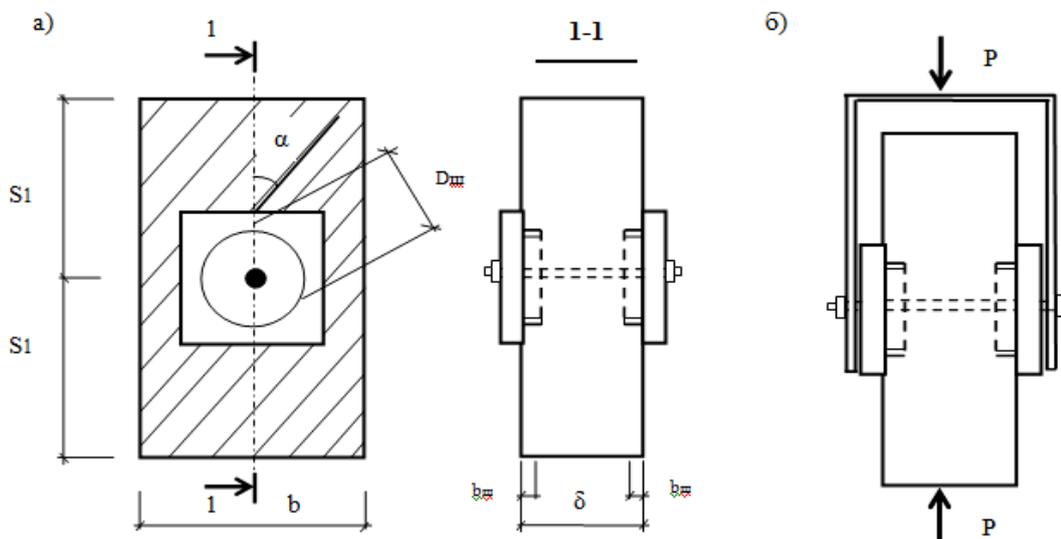


Рис.1. Общий вид (а) и схема испытаний (б) образцов

Испытанию подвергались образцы, имеющие диаметр $D_{шп} = 50$ мм; 60 мм; 75 мм и 100 мм. Ширина кольца ($b_{шп}$) принималась равной 20 мм и толщина кольца – 2 мм. Как показали испытания, увеличение ширины кольца $b_{шп}$ приводит, естественно, к повышению предельной нагрузки на ЦККШ, однако увеличение $b_{шп}$ может привести и к чрезмерному ослаблению соединяемых элементов, в итоге предельная нагрузка на соединение может не повыситься. Исключение могут составлять случаи, когда размеры соединяемых элементов достаточно велики и соединение воспринимает значительные сдвиговые усилия.

Нагружение образцов проводилось на гидравлическом прессе. Нагрузка прикладывалась поэтапно с величиной ступени $\Delta P = 5,00$ кН. В процессе испытаний на каждом этапе нагружения фиксировались деформации сдвига с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Нагружение производилось до разрушения образцов. Характер разрушения существенно зависел от угла α° – передачи нагрузки на образец. Величина угла α принималась равной 0° , 30° , 45° , 60° и 90° . Количество образцов, подвергаемых испытанию, принималось в каждой серии не менее 5 с целью возможности проведения статистической обработки результатов.

Результаты испытаний, приведенные в таблице, обработаны методом математической статистики. С целью оценки влияния клея на предельную нагрузку соединения были испытаны образцы, в которых центровая шпонка вставлялась в гнездо без клея. Результаты испытаний таких образцов отмечены значком *.

Результаты испытаний образцов

Серия образцов	Разрушающая нагрузка, кН		Статистические показатели			
	Разброс величин	Среднее значение M	σ	m	V	$p, \%$
2ЦККШ-50-0°	58,8-78,3	67,20	9,60	4,29	0,1428	6,387
2ЦККШ-50-30°	43,9-67,2	57	9,15	4,09	0,1606	7,181
2ЦККШ-50-45°	48-65	55,7	6,36	2,84	0,1142	5,106
2ЦККШ-50-60°	32,5-52,5	43	8,23	3,68	0,1913	8,555
2ЦККШ-50-90°	36,8-42,5	39,64	5,68	2,54	0,1434	6,411
2ЦККШ-50-0°*	48,65-52,8	50,4	3,01	1,74	0,05964	3,443
2ЦККШ-60-0°	78-105	92,8	10,85	4,85	0,1169	5,228
2ЦККШ-60-30°	66,4-76,2	70,3	4,48	2,00	0,0637	2,849
2ЦККШ-60-45°	50,5-73,2	63,86	9,89	4,42	0,1549	6,925
2ЦККШ-60-60°	59,4-62	60,65	1,04	0,47	0,0172	0,768
2ЦККШ-60-90°	54-57,4	55,3	1,28	0,57	0,0232	1,039
2ЦККШ-60-0°*	74,0-75,3	74,8	0,97	0,56	0,01293	0,746
2ЦККШ-75-0°	104,5-113,5	111,64	5,72	2,56	0,0512	2,290
2ЦККШ-75-30°	87,4-100	92,66	4,96	2,22	0,0535	2,392
2ЦККШ-75-45°	63,5-80,5	75,14	7,40	3,31	0,0984	4,402
2ЦККШ-75-60°	66-76,2	71,45	4,11	1,84	0,0575	2,573
2ЦККШ-75-90°	64-72,4	68,1	3,64	1,63	0,0534	2,390
2ЦККШ-75-0°*	77,2-84,5	80,3	4,86	2,81	0,06057	3,497
2ЦККШ-100-0°	116,2-138,5	129,14	8,70	3,89	0,0673	3,011
2ЦККШ-100-30°	98,1-115,4	104,5	7,98	3,57	0,0764	3,415
2ЦККШ-100-45°	76,1-114,4	99,78	16,72	7,48	0,1676	7,493
2ЦККШ-100-60°	79,3-90,4	85	4,44	1,98	0,0522	2,334
2ЦККШ-100-90°	72,3-83,1	78,2	4,30	1,92	0,0550	2,458
2ЦККШ-100-0°*	98,6-104,8	100,8	4,65	2,69	0,04617	2,666

В таблице приняты следующие обозначения:

M – среднее арифметическое; n – количество образцов; σ – среднее квадратическое отклонение; m – средняя ошибка среднего арифметического; V – вариационный коэффициент; p – показатель точности в %.

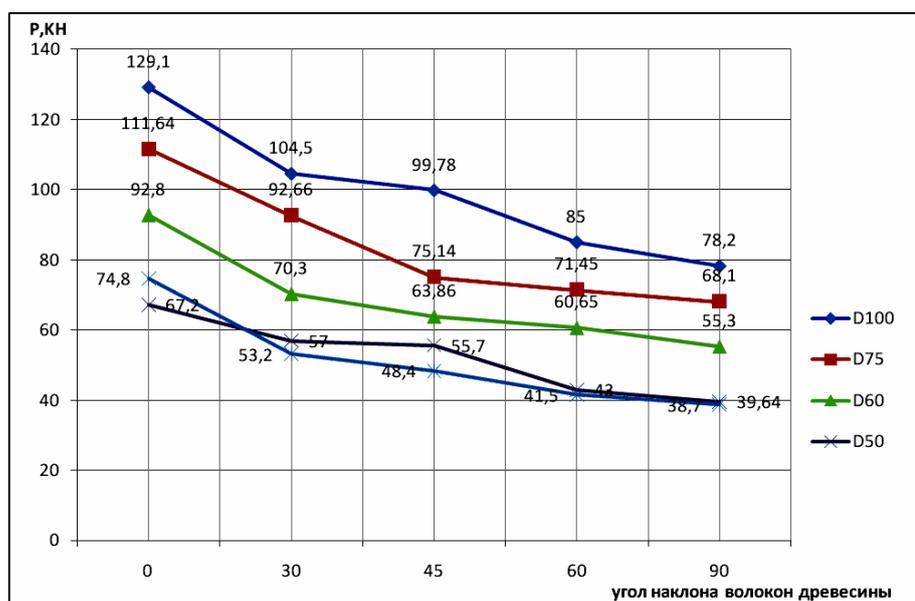


Рис.2. Зависимость предельной нагрузки P угла α передачи усилий

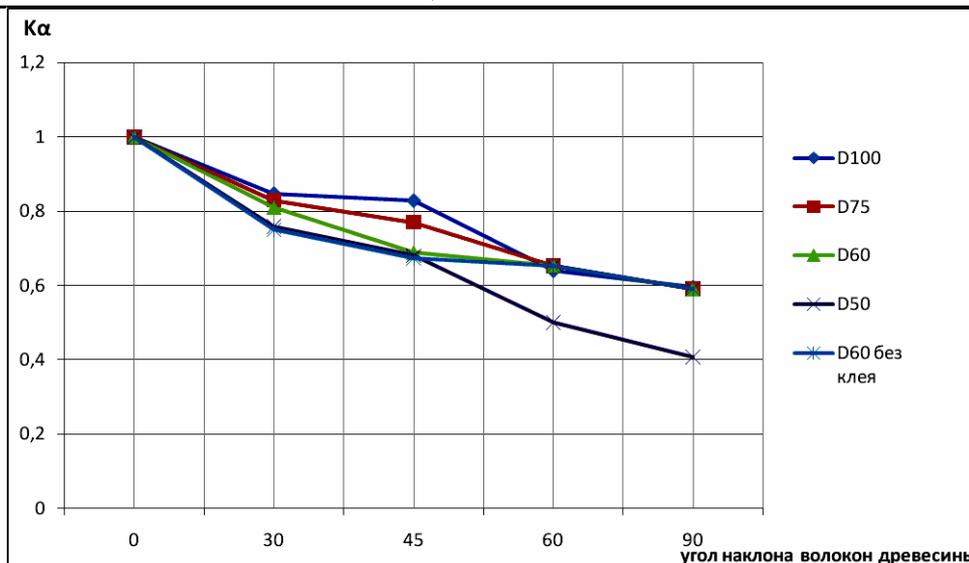


Рис.3. Изменение коэффициента K_α

На рис.2 показано изменение предельной нагрузки на образец в зависимости от угла передачи усилий по отношению к направлению волокон. Естественно, наблюдается снижение этой предельной нагрузки с изменением угла α° от 0° до 90° . Для получения более общей картины влияния угла α° на работу соединений ЦККШ на рис.3 показан график изменения предельной нагрузки в относительных величинах. С этой целью вводится коэффициент $K_\alpha = \frac{P_{\alpha^\circ}}{P_0}$, значение которого показывает степень

снижения предельной нагрузки P_α , действующей под углом α к величине ее P_0 при угле $\alpha^\circ = 0^\circ$, т.е. действующей вдоль волокон древесины. При известных значениях коэффициента K_α и предельной нагрузки, действующей вдоль волокон, при других углах α° величина предельной нагрузки может быть определена аналогично рекомендациям СНиП II-25-80. Нормы проектирования по формуле $P_{\alpha^\circ} = K_\alpha \cdot P_0$.

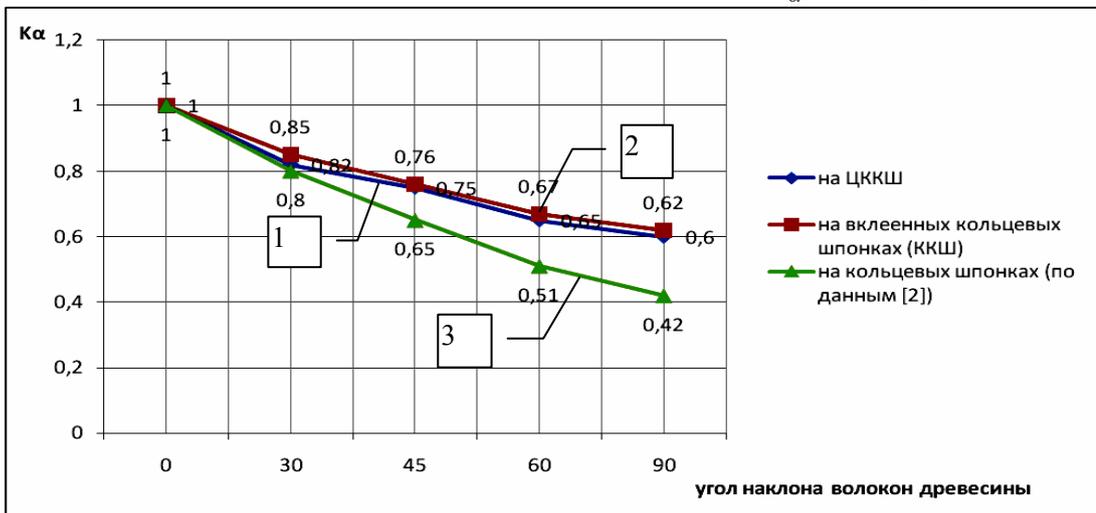


Рис.4. Изменение коэффициента K_α для соединений:
 1 – на ЦККШ; 2 – на клеенных кольцевых шпонках (ККШ);
 3 – на кольцевых шпонках (по данным [2])

На рис.4 приводится изменение коэффициента K_α для ЦККШ (линия 1). Учитывая незначительность их расхождений представлены осредненные для всех диаметров значения. Для сравнения приведены графики K_α для обычных кольцевых шпонок (линия 3) и клеенных кольцевых шпонок (линия 2). Как видно, существенное

расхождение графиков наблюдается лишь при углах α от 60° до 90° , т.е. когда предельная нагрузка на шпонку в основном определяется работой древесины на смятие. Наличие клеевой композиции в соединениях ЦККШ и ККШ обеспечивает большую монолитность соединения и в связи с этим способствует включению в работу на смятие большей площади, чем в обычных соединениях без клея. Это и приводит к некоторому увеличению K_α для клеенных шпонок, а следовательно, и к повышению несущей способности клеиметаллических соединений.

Величина предельной нагрузки P_0 при передаче усилия ЦККШ вдоль волокон древесины главным образом определяется работой древесины на местное смятие (под кольцевой шпонкой) вдоль волокон. Как известно, эта работа благоприятна для древесины, древесина в таких случаях обладает наибольшей прочностью и повышенной надежностью. Вследствие этого и предельная нагрузка на шпонку в таких случаях наибольшая. Другое дело, когда усилие передается ЦККШ под углами $\alpha = 30^\circ - 70^\circ$. В этом случае по площадкам деревянного образца вдоль и перпендикулярно к волокнам действуют достаточно значительные напряжения скалывания (вдоль волокон) и смятия (перпендикулярно к волокнам). Возникает большая вероятность разрушения образца от совместного действия местных напряжений скалывания и смятия. Эксперименты показали, что при углах $\alpha = 45^\circ, 60^\circ$, а иногда и 30° преимущественное разрушение образцов наблюдается от скалывания вдоль волокон, причем плоскость скалывания может проходить и по сечению, где расположена шпонка, и по цельному сечению. Разрушающая плоскость образца могла определяться лишь слабым местом в образце (наличие дефектов, ослаблений, нарушение структуры древесины и т.п.). При углах меньше 30° или больше 60° превалирующую роль играли напряжения смятия. Скалывания в образцах не наблюдалось, и предельная нагрузка определялась работой древесины на смятие вдоль или поперек волокон.

Несмотря на общую тенденцию снижения прочности соединений на ЦККШ при передаче усилий под углом α° к волокнам древесины, результаты экспериментальных исследований показали, что предельная разрушающая нагрузка на шпонку достаточно высока, и данный вид соединений может успешно применяться в таких несущих деревянных конструкциях, как фермы, сквозные рамы, арки и др., при выполнении узлов и стыков стержневых элементов, когда усилия от элементов, сходящихся в узле, передаются под углом к волокнам древесины.

Список литературы

1. Вдовин, В.М. Исследование работы соединений на центровых клеюкольцевых шпонках при передаче усилий под углом к волокнам древесины / В.М. Вдовин, А.И. Мухаев, В.Л. Ишкин // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2004.
2. Отрешко, А.И. Справочник проектировщика. Деревянные конструкции / А.И. Отрешко. – М.: Госстройиздат, 1957.

References

1. Vdovin, V.M. Connection work on the pivot ring glued dowels when load is spread over the wood fibers at the angle / V.M. Vdovin, A.I. Muhaev, V.L. Ishkin // Efficient building design: theory and practice: collection of articles. – Penza: Volga house of knowledge, 2004.
2. Otreshko, A.I. Designer guide. Wooden structures / A.I. Otreshko. – M.: Gosstroyizdat, 1957.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.356.3

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел.: 92-95-08 (доп. 11-88)

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел.: 95-92-08 (доп. 11-88), 89063965775
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор,
советник РААСН, действительный член
Нью-Йоркской Академии наук и Академии
информатизации образования,
зав. каф. «Информационные системы
и компьютерное моделирование»
Тел.: (+7)9061594207
E-mail: koshev@pguas.ru

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Прикладная математика
и информатика»

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

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88)

Grishin Boris Mikchailovich,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88), 89063965775
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Koshev Alexander Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor,
Adviser of the Russian Academy of
Architectural and Building the full member of
the New York Academy of Sciences and
Academy of information of education,
Head of the department «Information systems
and computer modeling»
Tel.: (+7)9061594207
E-mail: koshev@pguas.ru

Kamburg Vladimir Grigoryevich,
Doctor of Science, Head of the department
«Applied mathematics and information»

Garkina Irina Aleksandrovna,
Doctor of Science, Professor of the
department «Mathematics and mathematical
modelling»
E-mail: pmi@pguas.ru

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ

С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, А.Н. Кошев, В.Г. Камбург, И.А. Гарькина

На основе уравнения неразрывности потока жидкости получена эмпирическая модель распределения скоростей турбулентного потока в поперечном сечении водопроводных труб. Предлагаемая модель позволяет исследовать особенности системы в широком диапазоне изменения её параметров и обладает наиболее точными прогнозирующими свойствами.

Ключевые слова: водопроводные трубы, турбулентный поток, распределение скоростей.

HYDRAULIC CONFORMITIES OF TURBULENT FLOW VELOCITY DISTRIBUTION IN DIAMETRICAL SECTION OF WATER SUPPLY PIPES

S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, A.N.Koshev, V.G. Kamburg, I.A. Garkina

On the basis of fluid flow continuity equation the empirical model of turbulent flow velocity distribution in diametrical section of water pipes is given. The suggested model allows to investigate some peculiarities of the system in a wide range of its parameters change and possesses the most exact forecasting properties.

Key words: water supply pipes, turbulent flow, velocity distribution.

В процессе инженерных расчетов при рассмотрении турбулентного режима жидкостей в трубах круглого сечения возникают две основные задачи – определение потерь напора по длине трубы и распределение местных осредненных скоростей потока по ее поперечному сечению.

Как распределение скоростей, так и потери напора могут сильно меняться в зависимости от режима движения потока жидкости. Наиболее характерным в практике водоснабжения является турбулентный режим течения жидкости, для которого характерны перемешивание жидкости, пульсации скоростей и давлений в процессе движения.

Значение Re_k , при котором ламинарное течение жидкости переходит в турбулентное, называется критическим числом Рейнольдса ($Re_k=2300$). При достижении критического значения Re_k в пристеночной области потока начинают формироваться микро-вихри – отдельные закрученные объемы жидкости, которые перемещаются к оси потока и своим перемещением нарушают существовавший до того режим упорядоченного (послойного) движения, характерного для ламинарного режима. В результате диффузии образовавшихся в пристеночных областях элементарных вихрей происходит гашение заключающейся в них кинетической энергии. Движение элементарных вихрей обуславливает движение более крупных масс жидкости – турбулентных молей, причем энергия турбулентных молей, имеющих больший масштаб, переходит в энергию элементарных вихрей, имеющих меньший масштаб, который постепенно уменьшается, и при достижении некоторой наименьшей величины λ_0 происходит рассеивание энергии в окружающую среду – переход ее в тепло.

При турбулентном режиме движения скорость в любой точке потока непрерывно изменяется по величине и направлению. Это явление называется пульсацией скорости (рис.1). Скорость в данный момент времени в данной точке турбулентного потока u называется местной скоростью. Было отмечено, что величина местной скорости беспорядочно колеблется около некоторого осредненного по времени значения, которое остается постоянным. Это обстоятельство позволило при рассмотрении турбулентных потоков пользоваться понятием осредненной скорости \bar{u} . Осредненной скоростью называется средняя скорость движения в данной точке, определяемая за достаточно продолжительный промежуток времени.

Осредненная скорость в любой точке потока может быть определена как

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u_t \partial T, \text{ м/с.} \quad (1)$$

Введение понятия осредненной скорости в точке позволяет считать турбулентный поток квазиустановившимся, т.е. условно установившимся. В этом случае сохраняются такие понятия, как линия тока, элементарная струйка, средняя скорость в живом сечении. При турбулентном движении, как и при ламинарном, применяются уравнения Бернулли.

Экспериментальные исследования показывают, что турбулентный поток в трубе разделяется на две, резко различающиеся по структуре области. Непосредственно у стенки образуется очень тонкая область, в которой наблюдается ламинарное движение –

так называемый ламинарный, вязкий подслои. Остальная часть потока – область, характеризующаяся турбулентным режимом движения жидкости (турбулентное ядро).

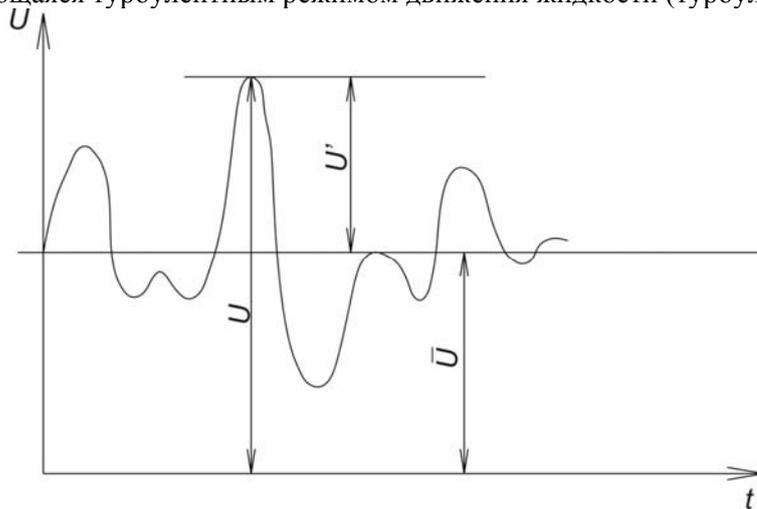


Рис.1. Пульсации местной скорости u_T в турбулентном потоке:
 \bar{u} – осредненная скорость турбулентного потока; u – мгновенная скорость турбулентного потока; u' – пульсационная скорость турбулентного потока ($\bar{u} = u - u'$)

Для описания эпюр осредненных скоростей в поперечном сечении трубы принято пользоваться эмпирическим уравнением [1]

$$\bar{u} = \bar{u}_{\max} \left(1 - \frac{r}{r_0}\right)^m, \quad (2)$$

где \bar{u} – усредненная скорость потока на расстоянии r от оси трубы, м/с; \bar{u}_{\max} – максимальная скорость потока на оси трубы, м/с; r_0 – радиус трубы, м; m – показатель степени.

Если принять $m = \frac{1}{7}$, получим так называемый закон «одной седьмой» Кармана.

Исследования последнего времени показали, что показатель степени m зависит от относительной шероховатости стенок трубы $\bar{\Delta}$ и числа Рейнольдса Re и изменяется от 0,25 для шероховатых труб до $m=0,1$ для гладких труб [2]. Потери напора по длине трубопровода ΔH_l как для ламинарного движения, так и для турбулентного движения определяют по формуле Дарси – Вейсбаха

$$\Delta H_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси); l – длина трубопровода, м; d – диаметр трубопровода, м; V – средняя скорость потока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с.

Преобразовывая формулу (3) с учетом

$$d = 4R, \quad i = \frac{\Delta H_l}{l}, \quad V_*^2 = iRg,$$

где i – гидравлический уклон; R – гидравлический радиус, м; V_* – динамическая скорость потока, м/с, имеем

$$V^2 = \frac{1}{\lambda} \frac{\Delta H_l}{l} d 2g = \frac{1}{\lambda} i 4R 2g = \frac{8}{\lambda} V_*^2,$$

откуда

$$V_* = \sqrt{\frac{\lambda}{8}} V, \text{ м/с.} \quad (4)$$

В работе [3] рекомендуется принимать для формулы (2) показатель степени $m=0,9\sqrt{\lambda}$, тогда

$$\bar{u} = \bar{u}_{\max} \left(1 - \frac{r}{r_0}\right)^{0,9\sqrt{\lambda}}. \quad (5)$$

Исследования Л. Прандтля, Т. Кармана, Ф.А. Шевелева показали, что дефицит средней скорости турбулентного потока D является постоянной величиной [4]

$$D = \frac{\bar{u}_{\max} - V}{V_*} = \frac{1,5}{\chi} = 3,75, \quad (6)$$

где $\chi=0,4$ – постоянная Прандтля – Кармана.

Из формулы (6) $\bar{u}_{\max} = V + 3,75V_*$, а с учетом (4)

$$\bar{u}_{\max} = V(1 + 1,33\sqrt{\lambda}). \quad (7)$$

Зависимость (7) показывает, что отношение максимальной осредненной скорости на оси турбулентного потока \bar{u}_{\max} к средней по сечению скорости V при наиболее распространенных значениях коэффициента трения $\lambda = 0,010 - 0,05$ для турбулентного движения колеблется в следующих пределах:

$$\frac{\bar{u}_{\max}}{V} = 1,133 - 1,297,$$

для ламинарного движения

$$\frac{u_{\max}}{V} = 2.$$

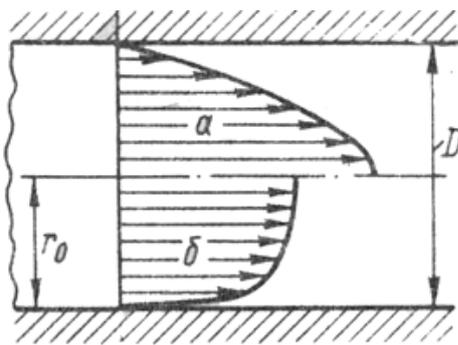


Рис.2. Профили скоростей в ламинарном (а) и турбулентном (б) потоках

Если сравнить кривые распределения скоростей в ламинарном и турбулентном потоках в одной и той же трубе при одном и том же расходе, но различных вязкостях жидкости, то можно обнаружить существенные различия в указанных кривых (рис.2).

Распределение скоростей при турбулентном режиме равномернее, и нарастание скорости у стенки круче, чем при ламинарном режиме, для которого, как известно, характерен параболический закон распределения скоростей.

Закон распределения скоростей потока должен обеспечивать условия неразрывности потока жидкости.

$$V = \frac{Q}{\omega}, \text{ м/с,} \quad (8)$$

где Q – расход потока жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; $\omega = \pi r^2$ – площадь живого сечения потока.

Элементарный расход жидкости в живом кольцевом сечении, имеющем толщину dr (рис. 3) и расположенном от центра на расстоянии r , определится по формуле

$$dQ = u_r d\omega = u_r 2\pi r dr, \quad (9)$$

где u_r – скорость потока на радиусе r ; $d\omega$ – площадь кольцевого сечения толщиной dr .

Расход жидкости в трубе можно найти путем суммирования элементарных расходов, проходящих через кольцевые площади радиусом r и шириной dr . Тогда формула (9) примет вид

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{\int_0^{r_0} u_r 2\pi r dr}{\pi r_0^2}, \text{ м/с}, \quad (10)$$

где r_0 – радиус трубы.

Условию (10) удовлетворяет закон Стокса, описывающий изменение скорости ламинарного потока в поперечном сечении трубы в зависимости от величины радиуса r :

$$u = 2V \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2}\right). \quad (11)$$

Закон распределения скоростей ламинарного потока в поперечном сечении трубы Стокса описывается параболой второй степени и не может быть использован для случая турбулентного движения жидкости, так как он дает завышенные значения максимальной скорости на оси потока.

Было предложено для описания распределения местных осредненных скоростей турбулентного потока жидкости в поперечном сечении круглой трубы использовать уравнение

$$\bar{u}_r = 2V \left(A - B \frac{r^2}{r_0^2}\right), \text{ м/с}, \quad (12)$$

где A и B – константы.

Значение A определяется из условия: $r=0$; $\bar{u}_r = \bar{u}_{\max}$.

$$\bar{u}_r = 2VA = \bar{u}_{\max}; \quad A = \frac{\bar{u}_{\max}}{2V} = \beta,$$

где β – отношение скорости на оси потока при турбулентном движении к максимальной скорости на оси потока при ламинарном движении, одинаковом расходе и радиусе трубы,

$$\beta = \frac{V(1 + 1,33\sqrt{\lambda})}{2V} = \frac{1 + 1,33\sqrt{\lambda}}{2}. \quad (13)$$

Значение B определим из условия

$$Q = \int_0^{r_0} 2V \left(\beta - B \frac{r^2}{r_0^2}\right) 2\pi r dr = V\pi r_0^2$$

или

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^{r_0} 2V \left(\beta - B \frac{r^2}{r_0^2}\right) 2\pi r dr = \int_0^{r_0} 4V\pi\beta r dr - \int_0^{r_0} \frac{4BV\pi}{r_0^2} r^3 dr = \\ &= 4V\pi\beta \frac{r_0^2}{2} - \frac{4BV\pi}{r_0^2} \frac{r_0^4}{4} = 2V\pi r_0^2 \beta - BV\pi r_0^2 = \pi r_0^2 (2V\beta - BV) = V\pi r_0^2, \end{aligned}$$

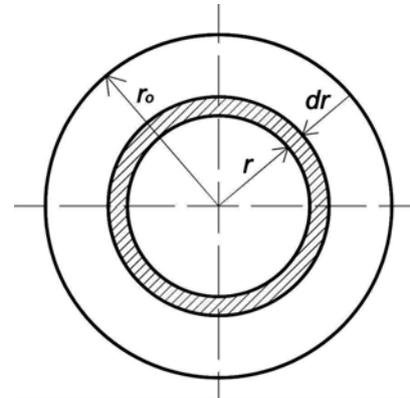


Рис. 3. К определению расхода жидкости в трубе

откуда имеем

$$B = 2\beta - 1. \quad (14)$$

Формула (12) с учетом (14) примет вид:

$$\bar{u}_r = 2V[\beta - (2\beta - 1)\frac{r^2}{r_0^2}]. \quad (15)$$

Из формул (5) и (15) соответственно имеем

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{\max}} = (1 - \frac{r}{r_0})^{0,9\sqrt{\lambda}}, \quad (16)$$

$$\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{\max}} = 1 - \frac{r^2}{r_0^2} \frac{2\beta - 1}{\beta}. \quad (17)$$

В таблице приведены значения $\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{\max}}$, вычисленные по формулам (16), (17), и погрешности вычислений Δ , %, при значении коэффициента гидравлического трения $\lambda=0,02$ для различных r/r_0 .

Как видно из данных, приведенных в таблице, отклонения, полученные в вычислениях по формулам (16) и (17), имеют значения менее 3 %, что считается допустимым при инженерных расчетах. Формула (16) является экспериментальной (эмпирической) моделью распределения местных осредненных скоростей турбулентного потока в поперечном сечении круглой трубы, в которой количественная оценка взаимосвязей между основными ее элементами была произведена путем аппроксимирования полученных экспериментальных данных.

Значения \bar{u}/\bar{u}_{\max} , вычисленные по формулам (16), (17), и погрешности вычислений Δ , %, при значении коэффициента гидравлического трения $\lambda=0,02$ для различных r/r_0

$\frac{r}{r_0}$	0,2	0,4	0,6	0,8
1	2	3	4	5
$\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{\max}}$ по (16)	0,972	0,937	0,890	0,815
$\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{\max}}$ по (17)	0,987	0,949	0,886	0,797
Δ , %	1,5	1,3	0,5	2,2

Математические модели этого типа дают наиболее точные результаты только в узких границах значений параметров, соответствующих условиям проведения исходных экспериментов. Формула (17) является теоретической (детерминированной) моделью и была получена в процессе математического анализа уравнения неразрывности потока. В отличие от эмпирических теоретические модели базируются на фундаментальных закономерностях материального мира, существенных, устойчивых и неслучайных связях между свойствами материальных объектов.

Предлагаемая модель распределения скоростей турбулентного потока в поперечном сечении водопроводных труб позволяет исследовать гидравлические характеристики в широком диапазоне изменения их параметров и обладает наиболее точными прогнозирующими свойствами.

Список литературы

1. Сайритдинов, С.Ш. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения / С.Ш. Сайритдинов. – М.: АСВ, 2004.
2. Калицун, В.И. Гидравлика, водоснабжение и канализация / В.И. Калицун, В.С. Кедров. – М.: Стройиздат, 2002.
3. Альтшуль, А.Д. О степенной формуле распределения скоростей в трубах / А.Д. Альтшуль, В.И. Калицун // Научные доклады Высшей Школы (Строительство). – 1958. – №3.
4. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль. – М.: Стройиздат, 1975.

References

1. Sairitdinov, S.Sh. Hydraulics of water supply and water removal systems / S.Sh.Sairitdinov. – М.: ACHEI, 2004.
2. Kalitsun, V.I. Hydraulics, water supply and water removal / V.I. Kalitsun, V.S.Kedrov. – М.: CIPH, 2002.
3. Altshul, A.D. On extent formula velocity distribution in pipes / A.D. Altshul, V.I. Kalitsun//Scientific reports of Higher School (Construction). – 1958. – №3.
4. Altshul, A.D. Hydraulics and aerodynamics / A.D. Altshul, P.G. Kiselev. – М.: CIPH, 1975.

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел. 92-95-08 (доп. 11-88)

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел. 95-92-08 (доп. 11-88), 89063965775
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Прикладная математика
и информатика»
Тел.: 48-27-37
E-mail: pmi@pguas.ru.

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
Тел. 48-27-37

Давыдов Геннадий Павлович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел. 92-95-08(доп. 11-88)

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88)

Grishin Boris Mikchailovich,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88), 89063965775
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Kamburg Vladimir Grigoryevich,
Doctor of Science, Head of the department
«Applied mathematics and information»;
Tel.: 48-27-37
E-mail: pmi@pguas.ru.

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Building constructions»
Tel.: 48-27-37

Davydov Gennadiy Pavlovich,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, В.Г. Камбург, Н.Н. Ласьков, Г.П. Давыдов

Приведена методика расчета аэротенков-смесителей и аэротенков-вытеснителей, полученная на основе уравнения кинетики ферментативной реакции. Использование предложенной методики позволит оптимизировать параметры биологической очистки сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, аэротенки, иловая смесь, период аэрации.

MATHEMATICAL MODELLING OF WASTE WATER PURIFICATION PROCESSES IN AEROTANKS

S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, V.G. Kamburg, N.N. Laskov, G.P. Davydov

The methodology of aerotanks-mixers and aerotanks-displacers calculation on the basis of fermentation reaction kinetics equation is given. The application of the suggested methodology allows to optimize the parameters of waste water biological purification.

Keywords: waste water, aerotanks, sludge mixture, aeration period.

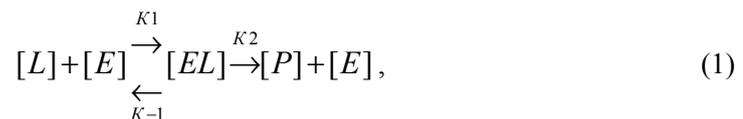
Процесс биологического разрушения органических загрязнений в аэротенках происходит под воздействием биоциноза активного ила, то есть комплекса всех микроорганизмов, развивающихся в нем. Основную роль при этом играют бактерии, обладающие способностью образовывать колонии-клоны (хлопья).

Хлопья состоят из большого числа многослойно расположенных бактериальных клеток, заключенных в слизь. Подобные бактериальные скопления получили название зооглей [1].

Биологическое окисление органических загрязнений микроорганизмами активного ила является следствием протекания большого комплекса взаимосвязанных процессов различной сложности, от элементарных актов обмена электронов до сложных взаимодействий биоценоза с окружающей средой. В системе активный ил – сточные воды устанавливается динамическое равновесие, которое достигается сложением множества относительно небольших отклонений активности и численности отдельных видов в ту или иную сторону от их среднего уровня. Одним из проявлений такой закономерности является единый для многих видов сточных вод характер кинетических кривых изъятия субстратов (органических веществ) в процессе очистки сточных вод [2].

Закономерности протекания биохимических процессов очистки сточных вод активным илом принято описывать на основе классических представлений ферментативной кинетики. Впервые гипотеза о существовании фермент-субстратного комплекса была выдвинута Мехаллисом и Ментен еще в 1913 г. [3].

Кинетика ферментативных реакций основана на предположении существования фермент-субстратного комплекса и зависимости скорости реакции от скорости его распада. При этом предполагается, что комплекс образуется мгновенно, его концентрация остается постоянной и определяется термодинамическим равновесием между ферментом, субстратом и этим комплексом. Уравнение реакции было составлено из условий стационарной кинетики и имело вид:



где $[L]$, $[E]$, $[EL]$, $[P]$ – соответственно концентрации субстрата, фермента, фермент-субстратного комплекса, продукта реакции, мг/л; K_1 , K_{-1} , K_2 – константы скорости протекания прямых и обратных реакций.

В отличие от химических катализаторов белковая природа ферментов обуславливает изменение их активности в зависимости от создаваемых условий. При этом скорость катализируемой ферментом реакции возрастает не пропорционально увеличению концентрации субстрата, а с постепенным замедлением.

В результате математического анализа реакции (1) было получено известное уравнение [3]:

$$V = V_{\max} \frac{L}{K_L + L}, \text{ мг/(л·ч)}, \quad (2)$$

где V – скорость реакции, мг/(л·ч), при концентрации субстрата L , мг/л; V_{\max} – максимальная скорость реакции, достигаемая при насыщении фермента субстратом, мг/(л·ч); K_L – коэффициент Михаэлиса, мг/л.

В практике очистки сточных вод в качестве показателя скорости реакции используется величина удельной скорости окисления органических загрязнений беззольным веществом активного ила ρ [4]:

$$\rho = \frac{V}{a(1-S)}, \text{ мг/(г·ч)}, \quad (3)$$

где a – доза активного ила, г/л; S – зольность активного ила.

Формулу (2) можно записать в виде:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L}{K_L + L}, \text{ мг/(г·ч)}, \quad (4)$$

где ρ_{\max} – максимальная удельная скорость окисления, мг/(г·ч).

График зависимости величины удельной скорости окисления загрязнений беззольным веществом активного ила от концентрации органических веществ по уравнению Михаэлиса – Ментен представлен на рис. 1.

При малых концентрациях органических загрязнений L удельная скорость окисления ρ в первом приближении линейно увеличивается при повышении концентрации субстрата.

При $K_L \gg L$ можно считать, что $K_L + L \approx K_L$, тогда изменение удельной скорости окисления описывается уравнением реакции первого порядка:

$$\rho = \frac{\rho_{\max}}{K_L} L = KL, \text{ л/(г·ч)}, \quad (5)$$

где K – коэффициент скорости реакции ($K = \frac{\rho_{\max}}{K_L}$), л/(г·ч).

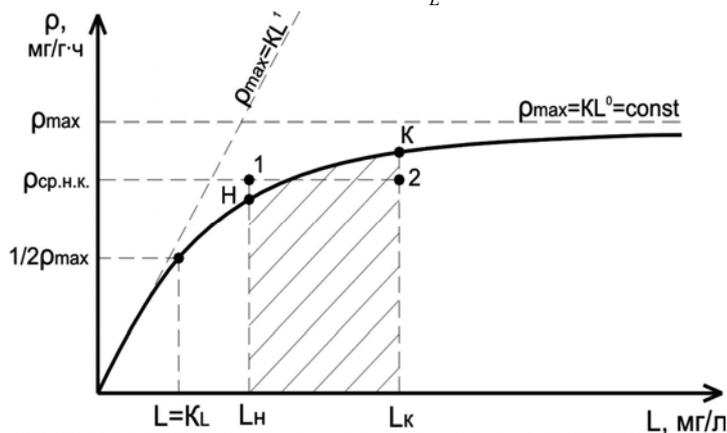


Рис. 1. График зависимости величины удельной скорости окисления загрязнений беззольным веществом активного ила ρ от концентрации органических веществ по уравнению Михаэлиса – Ментен

При некотором значении концентрации органических загрязнений наблюдается торможение прироста скорости окисления ρ , вызванное дефицитом фермента. Зависимость $\rho = f(L)$ перестает быть линейной.

При достижении максимального значения величины удельной скорости окисления органических загрязнений $\rho \approx \rho_{\max} = \text{const}$ весь фермент включается в реакцию, и дальнейшего увеличения скорости реакции при повышении концентрации субстрата не происходит. По отношению к концентрации субстрата скорость реакции в этой стадии выражается уравнением реакции нулевого порядка. Таким образом, порядок уравнения $\rho = K \cdot L^n$, описывающего скорость процесса биохимического окисления органических загрязнений активным илом при увеличении концентрации субстрата, изменяется от 1 до 0.

При концентрации органических загрязнений $L = K_L$ удельная скорость окисления $\rho = \frac{1}{2} \rho_{\max}$. Таким образом, коэффициент Михаэлиса численно равен концентрации субстрата, при которой величина удельной скорости окисления равна половине величины максимальной удельной скорости окисления. Коэффициент Михаэлиса также называют коэффициентом полунасыщения.

По гидродинамическому режиму, поддерживаемому в аэрационном бассейне, аэротенки подразделяются на два основных типа: аэротенки-вытеснители и аэротенки-смесители.

Конструкция коридорного аэротенка-вытеснителя с пневматической системой аэрации (аэротенк Херда) окончательно сложилась к началу 20-х годов XX века и почти не подвергалась изменению до наших дней [4]. Аэротенк-вытеснитель является основным сооружением станций аэрации многих городов и промышленных предприятий и представ-

ляет собой емкостное сооружение, в котором сточная вода и возвратный активный ил выпускаются сосредоточенно с одной из торцевых сторон и выводятся также сосредоточенно с другой торцевой стороны (рис.2,а).

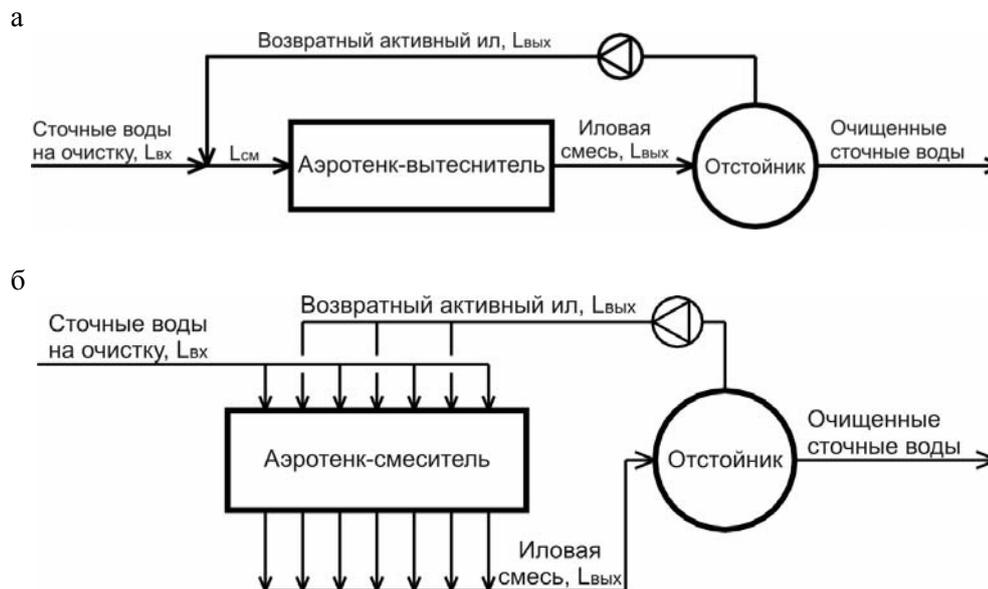


Рис.2. Схемы аэротенка-вытеснителя (а) и аэротенка-смесителя (б)

Продольное перемешивание в сооружениях этого типа отсутствует или является незначительным. В них устанавливается гидравлический режим вытеснения или режим «поршневого» типа. В аэрационном бассейне создается узкая продольная область иловой смеси, имеющая одинаковые характеристики («поршень»). Параметры иловой смеси в этой области изменяются при движении «поршня» вдоль коридора аэротенка и являются функцией времени контакта активного ила со сточными водами.

Проскок неочищенной жидкости в аэротенках-вытеснителях невозможен, что позволяет применять их для полной биологической очистки сточных вод ($BPK_{полн}$ очищенных сточных вод менее 20 мг/л).

Недостатком этих сооружений является значительная неравномерность нагрузки на активный ил по длине сооружения. В начале сооружения наблюдается перегрузка биомассы активного ила питательными веществами, в конце сооружения, как правило, имеется недостаток органических веществ. Аэротенк-вытеснитель без регенерации активного ила рекомендуется применять для очистки сточных вод с $BPK_{полн}$ не более 150 мг/л либо в качестве сооружения второй ступени биологической очистки. Прием регенерации активного ила позволяет увеличивать содержание органических загрязнений в сточных водах, подаваемых в аэротенк-вытеснитель, до $BPK_{полн}=350$ мг/л [4].

Идея создания аэротенка, способного очищать высококонцентрированные сточные воды, привела в 30-х годах XX века российского ученого проф. Н.А. Базякину к разработке конструкции аэротенка-смесителя, являющегося сооружением с децентрализованной подачей сточных вод и активного ила (рис.2,б) [4].

В аэротенке-смесителе подвод и отвод сточных вод и возвратного активного ила осуществляется равномерно вдоль длинной стороны коридора, в результате чего происходит почти мгновенное перемешивание сточных вод и активного ила с массой жидкости, находящейся в сооружении.

Во всех точках объема сооружения устанавливается практически одинаковая концентрация органических загрязнений. Нагрузка на активный ил зависит от объема сооружения и может иметь низкие значения при высокой концентрации загрязнений в сточных водах, поступающих на биологическую очистку.

Недостатком аэротенков-смесителей является возможность «проскока» части сточной жидкости без достаточной очистки, что затрудняет их использование при полной биологической очистке.

Концентрация органических загрязнений в любой точке объема аэротенка-смесителя имеет постоянное значение и равна концентрации органических загрязнений в иловой смеси на выходе из сооружения $L_{\text{ВЫХ}}$. Удельная скорость окисления органических загрязнений беззольным веществом активного ила в аэротенке-смесителе также имеет постоянное значение ρ .

Концентрацию органических загрязнений в сточных водах, поступающих в аэротенк, можно определить по формуле

$$L_{\text{ВХ}} = L_{\text{ВЫХ}} + \rho a(1-s)T_a, \quad (6)$$

где T_a – продолжительность обработки сточных вод в аэротенке (период аэрации), ч. Из выражения (6) находим время обработки сточных вод:

$$T_a = \frac{L_{\text{ВХ}} - L_{\text{ВЫХ}}}{a(1-s)\rho}. \quad (7)$$

В СНиПе [5] рекомендуется определять величину ρ по формуле

$$\rho = \rho_{\text{max}} \frac{L_{\text{ВЫХ}}}{L_{\text{ВЫХ}} C_0 + K_1 C_0 + K_0 L_{\text{ВЫХ}}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a}, \quad (8)$$

где ρ_{max} – максимальная скорость окисления органических загрязнений беззольным веществом активного ила, мг/(г·ч); C_0 – концентрация растворенного в иловой смеси кислорода воздуха, мг/л; K_1 – константа, характеризующая свойства органических загрязнений, мг/л; K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, мг/л; φ – коэффициент ингибирования процесса биохимического окисления органических загрязнений продуктами распада активного ила, л/г.

Формула (8) может быть приведена к общепринятому виду уравнения Михаэлиса – Ментен (4):

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max}} &= \frac{L_{\text{ВЫХ}} C_0}{L_{\text{ВЫХ}} C_0 + K_L C_0 + K_0 L_{\text{ВЫХ}}} = \rho_{\text{max}} \frac{L_{\text{ВЫХ}}}{L_{\text{ВЫХ}} + K_L + K_0 \cdot C_0^{-1} L_{\text{ВЫХ}}} = \\ &= \rho_{\text{max}} \frac{L_{\text{ВЫХ}}}{L_{\text{ВЫХ}} (1 + K_0 \cdot C_0^{-1}) + K_L} = \frac{\rho_{\text{max}}}{1 + K_0 \cdot C_0^{-1}} \cdot \frac{L_{\text{ВЫХ}}}{L_{\text{ВЫХ}} + \frac{K_L}{1 + K_0 \cdot C_0^{-1}}}. \end{aligned}$$

Обозначим $K_0' = \frac{1}{1 + K_0 \cdot C_0^{-1}}$; $\varphi' = \frac{1}{1 + \varphi a}$; $\rho'_{\text{max}} = \rho_{\text{max}} K_0' \cdot \varphi'$; $K_L' = K_L \cdot K_0'$. Тогда

формула (8) примет вид:

$$\rho = \rho'_{\text{max}} \cdot \frac{L_{\text{ВЫХ}}}{L_{\text{ВЫХ}} + K_L'}. \quad (9)$$

В отличие от аэротенка-смесителя, концентрация органических загрязнений в иловой смеси аэротенка-вытеснителя по длине сооружения уменьшается по логарифмическому закону. На выходе из аэротенка (см. рис.2,а) концентрация органических загрязнений в иловой смеси имеет минимальное значение $L_{\text{ВЫХ}}$, которое соответствует концентрации органических загрязнений L_H на графике, представленном на рис.1. В аэротенк-вытеснитель подается смесь сточных вод с потоком возвратного ила (см. рис.2,а). Концентрация органических загрязнений в этой смеси $L_{\text{СМ}}$ определяется по формуле (10). Ее значение соответствует концентрации органических загрязнений L_K на графике (см. рис.1):

$$L_{\text{СМ}} = \frac{L_{\text{ВХ}} + L_{\text{ВЫХ}} R_i}{1 + R_i}, \text{ мг/л}, \quad (10)$$

где $L_{\text{ВХ}}$ – концентрация органических загрязнений в сточных водах, мг/л; R_i – степень рециркуляции активного ила.

В соответствии с теоремой о среднем значении функции $f(L)$, интегрируемой в некотором промежутке изменения переменной L от L_H до L_K , величина ее среднего значения определяется как

$$\rho_{cp} = \frac{1}{L_K - L_H} \cdot \int_{L_H}^{L_K} f(L) dL.$$

Интеграл $\int_{L_H}^{L_K} f(L) dL$ равен площади фигуры $L_H H K L_K$ (см. рис.1). Фигуры $L_H H K L_K$ и

$L_H T.1 t.2 L_K$ имеют равные площади. Отношение площади фигуры $L_H H K L_K$ к длине ее основания $L_H L_K$ является средним значением функции $f(L)$ на интервале значений L от L_H до L_K .

В качестве функции, описывающей зависимость величины удельной скорости окисления ρ от концентрации органических загрязнений в иловой смеси L , примем уравнение Михаэлиса – Ментен (9), тогда

$$\begin{aligned} \rho_{cp} &= \frac{1}{L_K - L_H} \cdot \int_{L_H}^{L_K} \rho'_{max} \frac{L}{L + K'_L} dL = \frac{\rho'_{max}}{L_H - L_K} \left(\int_{L_H}^{L_K} \frac{L + K'_L}{L + K'_L} dL - \int_{L_H}^{L_K} \frac{K'_L}{L + K'_L} dL \right) = \\ &= \frac{\rho'_{max}}{L_K - L_H} \left(\int_{L_H}^{L_K} dL - K'_L \int_{L_H}^{L_K} \frac{dL}{L + K'_L} \right) = \frac{\rho_{max}}{L_K - L_H} [(L_K - L_H) - K'_L [\ln(L_K + K'_L) - \ln(L_H + K'_L)]] = \\ &= \rho'_{max} \left(1 - \frac{K'_L}{L_K - L_H} \ln \frac{L_K + K'_L}{L_H + K'_L} \right). \end{aligned}$$

Поскольку $L_K = L_{cm}$ и $L_H = L_{вых}$, то

$$\rho_{cp} = \rho'_{max} \left(1 - \frac{K'_L}{L_{cm} - L_{вых}} \ln \frac{L_{cm} + K'_L}{L_{вых} + K'_L} \right). \quad (12)$$

В справочном пособии [6] рекомендуется период аэрации сточных вод в аэротенке-вытеснителе без регенерации активного ила определять по формуле

$$T_a = \frac{1 + \varphi a}{\rho_{max} C_0 a (1 - S)} [(C_0 + K_0)(L_{cm} + L_{вых}) + K_L C_0 \ln \frac{L_{cm}}{L_{вых}}] K_p, \text{ ч}, \quad (13)$$

где K_p – эмпирический коэффициент.

При биологической очистке до $L_{вых} = 15$ мг/л $K_p = 1,5$, при $L_{вых} \geq 30$ мг/л $K_p = 1,25$.

В соответствии с предлагаемой методикой расчета аэротенка-вытеснителя без регенерации активного ила, величину средней удельной скорости окисления органических загрязнений беззольным веществом активного ила рекомендуется вычислять по формуле (12).

Коэффициенты $K'_0; K'_c; \varphi'; \rho'_{max}$ рассчитываются по формулам:

$$K'_0 = \frac{1}{1 + K_0 \cdot C_0^{-1}}; \quad K'_L = K_L K'_0; \quad \varphi' = \frac{1}{1 + \varphi a}; \quad \rho'_{max} = \rho_{max} K'_0 \varphi'. \quad (14)$$

Период аэрации сточных вод определяется по формуле

$$T_a = \frac{L_{cm} - L_{вых}}{a(1 - S)\rho_{cp}} K_p. \quad (15)$$

С помощью (12), (14) и (15) было получено уравнение для определения величины периода аэрации в аэротенке-вытеснителе без регенерации активного ила:

$$T_a = \frac{L_{cm} - L_{вых}}{a(1 - S)\rho_{max}} \frac{(1 + K_0 \cdot C_0^{-1})(1 + \varphi a)}{1 - \frac{K_L}{(1 + K_0 \cdot C_0^{-1})(L_{cm} - L_{вых})} \ln \left(\frac{L_{cm} + \frac{K_L}{1 + K_0 \cdot C_0^{-1}}}{L_{вых} + \frac{K_L}{1 + K_0 \cdot C_0^{-1}}} \right)} K_p. \quad (16)$$

В таблице приведены результаты расчета величины периода аэрации хозяйственно-бытовых сточных вод T_a в аэротенке-вытеснителе по формулам (13) и (16) при следующих исходных данных: концентрация органических загрязнений в сточных водах на входе в аэротенк $L_{вх}=140$ мг/л, доза активного ила $a=2$ г/л; концентрация растворенного кислорода в иловой смеси $C_0=2$ мг/л; константа, характеризующая свойства органических загрязнений, $K_L=33$ мг/л; константа, характеризующая влияние кислорода, $K_0=0,625$ мг/л; коэффициент ингибирования $\phi = 0,07$ л/ч; зольность ила $S=0,3$; максимальная скорость окисления органических загрязнений $\rho_{max} = 85$ мг/(г·ч), коэффициент рециркуляции $R_r=0,3$.

Концентрация органических загрязнений в иловой смеси на выходе из аэротенка, мг/л	15	30	45	60	75
T_{a1} , период аэрации, рассчитанный по формуле (13), ч	3,56	2,40	1,98	1,61	1,28
T_{a2} , период аэрации, рассчитанный по формуле (16), ч	3,46	2,38	1,97	1,61	1,28
Погрешность вычислений Δ , %	2,81	0,83	0,51	0	0

Из данных, приведенных в таблице, следует, что величины отклонений, полученные при вычислении по формулам (13) и (16), не превышают 3 %, что вполне допустимо при инженерных расчетах.

Формула (14) была получена из теоретического уравнения Михаэлиса – Ментен с использованием теоремы о среднем значении функции переменной, интегрируемой в рассматриваемом интервале изменений этой переменной. Эта формула является теоретической (детерминированной) математической моделью и обладает наиболее точными прогнозирующими свойствами в широком диапазоне изменения параметров работы аэротенков.

Список литературы

1. Пааль, Л.Л. Справочник по очистке природных и сточных вод / Л.Л. Пааль, Я.Я. Кару, Х.А.Мельдер, Б.Н. Репин. – М.: Высшая школа, 1994.
2. Яковлев, С.В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С.В. Яковлев, Т.А. Карюхина. – М.: Стройиздат, 1980.
3. Евилевич, М.А. Оптимизация биохимической очистки сточных вод / М.А. Евилевич, Л.Н. Брагинский. – Л.:Стройиздат, 1979.
4. Карелин, Я.А. Очистка производственных сточных вод в аэротенках / Я.А. Карелин, Д.Д. Жуков, В.Н. Журов, Б.Н. Репин. – М.:Стройиздат, 1973.
5. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Центр проектной продукции в строительстве (ГУПЦПП), 2002.
6. Справочное пособие к СНиП. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. – М.:Стройиздат, 1990.

References

1. Paal, L.L. Reference book. Purification of natural and waste water / L.L. Paal, Ya.Ya. Karu, H.A. Melder, B.N. Repin. – M.: Higher school, 1994.
2. Yakovlev, S.V. Biochemical processes in waste water treatment / S.V. Yakovlev, T.A. Karyuhina. – M.: CIPH, 1980.
3. Evilevich, M.A. Optimization of waste water biochemical purification / M.A. Evilevich, L.N. Braginsky. – L.: CIPH, 1979.
4. Karelin Ya.A. Industrial waste water purification in aerotanks / Ya.A. Karelin, D.D. Zhukov, V.N. Zhurov, B.N. Repin – M.: CIPH, 1973.
5. CNR 2.04.03–85 Canalization. External nets and structures. – M.: CDPCI, 2002.
6. CNR Reference book. Design of waste water purification structures. – M.: CIPH, 1990.

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,
зав. кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
Тел.: 95-92-08 (доп. 11-88), 89063965775
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
Тел.: 92-95-08 (доп. 11-88)

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор,
советник РААСН, действительный член
Нью-Йоркской Академии наук и Академии
информатизации образования,
зав. каф. «Информационные системы
и компьютерное моделирование»
Тел.: (+7)9061594207
E-mail: koshev@pguas.ru

Вилкова Наталья Георгиевна,
доктор химических наук, профессор,
зав. кафедрой «Химия»

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

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

Grishin Boris Mikchailovich,
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88), 89063965775
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
Tel.: 95-92-08 (доп. 11-88)

Koshev Alexander Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor,
Adviser of the Russian Academy of
Architectural and Building the full member of
the New York Academy of Sciences and
Academy of information of education,
Head of the department «Information systems
and computer modeling»
Tel.: (+7)9061594207
E-mail: koshev@pguas.ru

Vilkova Natalya Georgievna,
Doctor of Chemistry Science, Professor,
Head of the department «Chemistry»

Bikunova Marina Viktorovna,
Associate Professor of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, А.Н. Кошев, Н.Г. Вилкова, М.В. Бикунова

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований электрогидродинамических устройств (ЭГДУ), используемых для интенсификации реагентной очистки подземных вод, содержащих органические формы железа. На основе полученных данных разработана новая технология обезжелезивания воды для предприятий теплоэнергетики.

Ключевые слова: подземные воды, органические формы железа, водоподготовка, электрогидродинамическое устройство.

APPLICATION OF ELECTROHYDRODYNAMIC DEVICES FOR UNDERGROUND WATER REAGENT TREATMENT

B.M. Grishin, S.Yu. Andreev, A.N. Koshev, N.G. Vilkova, M.V. Bikunova

The results of theoretical and experimental investigations of electrohydrodynamic devices (EHDD) used for intensification of reagent purification of underground water contained organic iron forms are shown. On the basis of the received data new technology of water iron removal for thermoelectric generation plant is developed.

Keywords: underground water, organic forms of iron, water treatment, electrohydrodynamic device.

В подземных водах концентрации растворенного и нерастворенного железа могут достигать высоких значений. Одной из наиболее трудных проблем при обезжелезивании воды является удаление из нее органических форм железа. Однако до настоящего времени вопросам глубокого удаления железоорганических комплексов при подготовке подземных вод, используемых для технических целей, в частности для питания промышленных котлов ТЭЦ, не уделялось достаточного внимания. Поэтому проблема разработки новых технологических и конструкторских решений в этой области весьма актуальна.

Одним из таких решений является технология, предусматривающая использование в качестве аппарата для смешения и активации действия реагентов при обезжелезивании воды электрогидродинамического устройства (ЭГДУ), обеспечивающего высокую эффективность процесса подготовки воды для технических нужд ТЭЦ.

В предлагаемой конструкции электрогидродинамического устройства реализуются следующие процессы:

- насыщение подземной воды кислородом воздуха;
- введение раствора коагулянта и осуществление начальной стадии процесса хлопьеобразования;
- обработка водовоздушной смеси постоянным электрическим током;
- создание высокоградиентного перемешивания водовоздушной смеси и раствора коагулянта.

Все перечисленные выше процессы происходят при избыточном давлении водовоздушной смеси. Схема электрогидродинамической установки для обработки воды показана на рис. 1.

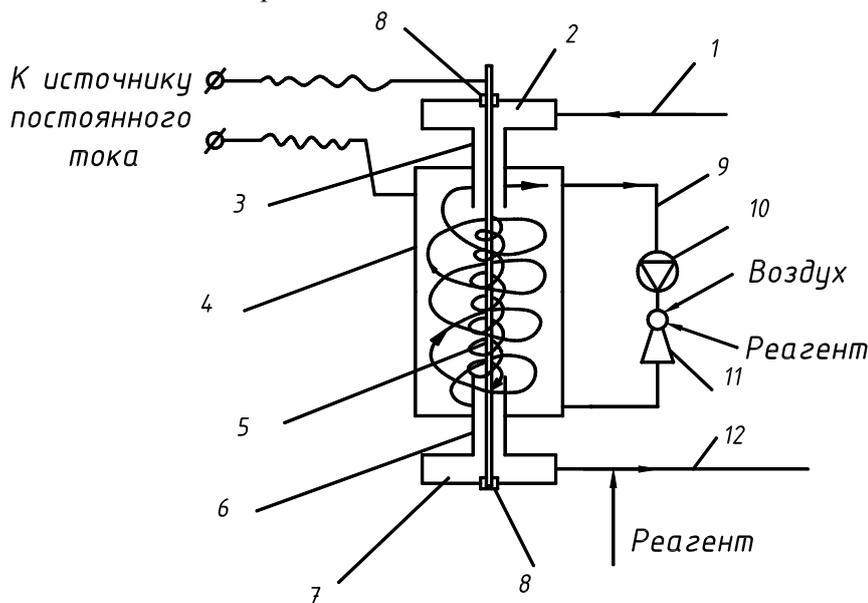


Рис. 1. Схема ЭГДУ с рециркуляцией водовоздушной смеси:

- 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 создается вихревое движение потока. При выходе потока из камеры 2 в соосно присоединенный к ней ствол 3 меньшего диаметра угловая скорость движения воды увеличивается; при этом в корпусе (4) ЭГДУ создается устойчивый внутренний нисходящий вихревой поток, который поддерживается также 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 всасывающе-

го и нагнетательного патрубков циркуляционного насоса 10. Забор воздуха осуществляется через воздушный патрубок эжектора 11, туда же дозируется часть расчетного расхода коагулянта. На границе внутреннего и внешнего вихрей происходят интенсивный массообмен и дробление пузырьков воздуха под действием турбулентных пульсаций и центробежных сил инерции. Необходимо также отметить, что в нижней части корпуса ЭГДУ внутренний нисходящий водовоздушный поток по аналогии с гидроциклоном переходит частично во внешний вихревой поток, увеличивая его момент количества движения.

Дробление пузырьков воздуха в ЭГДУ происходит только под действием турбулентных пульсаций скоростей потока, масштаб которых λ не превышает диаметра отдельно взятого пузырька воздуха d_n . Пульсации больших масштабов не приводят к дроблению пузырька, поскольку они просто переносят его из одной точки потока в другую, не вызывая его деформации. Таким образом, масштабы турбулентных пульсаций скорости потока, приводящие к диспергированию пузырька, должны быть примерно равны его размеру ($\lambda \approx d_n$), с уменьшением масштаба турбулентных пульсаций их энергия увеличивается. Максимальной энергией обладают турбулентные пульсации нулевого масштаба λ_0 .

Согласно теории Колмогорова – Обухова внутренний масштаб турбулентных пульсаций нулевого порядка, м, вычисляется по формуле [1]:

$$\lambda_0 = \sqrt[4]{\frac{v^3}{\varepsilon}}, \quad (1)$$

где ε – удельная секундная диссипация энергии в турбулентном потоке за единицу времени, отнесенная к единице массы потока, Дж/(кг·с); v – кинематический коэффициент вязкости среды, м²/с.

Градиент скорости турбулентных пульсаций нулевого масштаба G_{λ_0} , с⁻¹, определяется соотношением [1]:

$$G_{\lambda_0} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{v}}. \quad (2)$$

Скорость турбулентной пульсации нулевого масштаба V_{λ_0} , м/с, может быть найдена из соотношения

$$G_{\lambda_0} = \frac{V_{\lambda_0}}{\lambda_0}, \text{ откуда } V_{\lambda_0} = G_{\lambda_0} \lambda_0 = \sqrt[4]{v\varepsilon}. \quad (3)$$

Длительность пульсаций скорости нулевого масштаба T_{λ_0} , с, может быть определена из соотношения

$$T_{\lambda_0} = \frac{\lambda_0}{V_{\lambda_0}} = \sqrt{\frac{v}{\varepsilon}}. \quad (4)$$

Поскольку в турбулентном потоке наблюдается широкий спектр масштабов пульсаций скорости, то в диспергировании пузырьков будут участвовать турбулентные пульсации, масштаб которых изменяется от $\lambda \approx d_n$ до наиболее низкомасштабных пульсаций (λ_0), обладающих достаточной энергией для нарушения сплошности поверхности раздела фаз газ–жидкость. Размер образующихся при этом пузырьков воздуха, м, может быть описан соотношением [2]:

$$d_n = \sqrt{\frac{\sigma V}{25\rho V_\lambda^3}}, \quad (5)$$

где d_n – диаметр пузырька воздуха, образующегося в процессе обработки водовоздушной смеси, м; σ – коэффициент поверхностного натяжения неискривленной

поверхности раздела фаз газ–жидкость, Н/м; ρ – плотность воды, кг/м³; V – средняя скорость потока, м/с; V_λ – средний масштаб пульсаций.

По аналогии с формулой (3) можно записать

$$V_\lambda = G_\lambda \lambda. \quad (6)$$

Подставляя полученное выражение в формулу (5), получаем:

$$d_n = \sqrt{\frac{\sigma V}{25\rho G^3 \lambda^3}} \quad (7)$$

Анализ формулы (7) показывает, что диаметр d_n пузырьков воздуха, образующихся в ЭГДУ при напорном пневматическом перемешивании, будет обратно пропорционален величине градиента скорости G , характеризующего степень турбулизации потока, в степени $3/2$.

Основное турбулентное воздействие на пузырьки воздуха происходит на границе внутреннего и внешнего вихревых потоков, а также в пристеночных областях внешнего потока.

Так как центральный стержень 5 и корпус (4) ЭГДУ (см. рис. 1) являются электродами, присоединенными к источнику постоянного тока, то на взвешенные частицы и пузырьки воздуха оказываются следующие виды воздействий, обусловленные наличием электрического поля:

- поляризационное воздействие за счет сил Лоренца;
- электрохимическое воздействие в приэлектродных зонах с резко изменяющимися величинами рН и Eh;
- концентрационное воздействие, 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.

С целью сокращения доз коагулянтов при очистке подземных вод, содержащих железоорганические комплексы, авторами была разработана модель ЭГДУ, которая в составе лабораторной установки проходила испытания на ТЭЦ-3 г. Кузнецка Пензенской области.

Состав подземной воды относительно постоянен по сезонам года и характеризуется следующими показателями: рН 6,8–7,0, цветность 18–20 град; мутность 16–18 мг/л, жесткость 1,3–1,4 ммоль/л, хлориды 2–3 мг/л, сульфаты 14–18 мг/л, железо 4,8–5,3 мг/л, перманганатная окисляемость 7–10 мгО/л.

Согласно требованиям технологического регламента ТЭЦ-3 на водоподготовку, нормы качества добавочной воды для парогенераторов должны быть следующие: жесткость общая, не более 0,05 мг-экв/л; растворенный кислород не более 0,01 мг/л; соединения железа не более 0,15 мг/л; перманганатная окисляемость не более 3 мгО/л; содержание взвешенных веществ не более 1 мг/л; содержание растворенных солей не более 0,7 мг-экв/л.

Схема лабораторной установки реагентного обезжелезивания подземной воды ТЭЦ-3 г.Кузнецка показана на рис.2.

Вода из напорного трубопровода 1 артскважины под избыточным напором $(1,9-2) \cdot 10^5$ Па подавалась во входную камеру (2) ЭГДУ. Габаритные размеры лабораторного ЭГДУ были следующие:

- диаметры входной и выходной камер – 150 мм
- диаметр ствола входной камеры – 50 мм
- диаметр корпуса – 150 мм
- диаметр центрального стержня – 2 мм
- общая высота – 480 мм
- материал ЭГДУ – нержавеющая сталь.

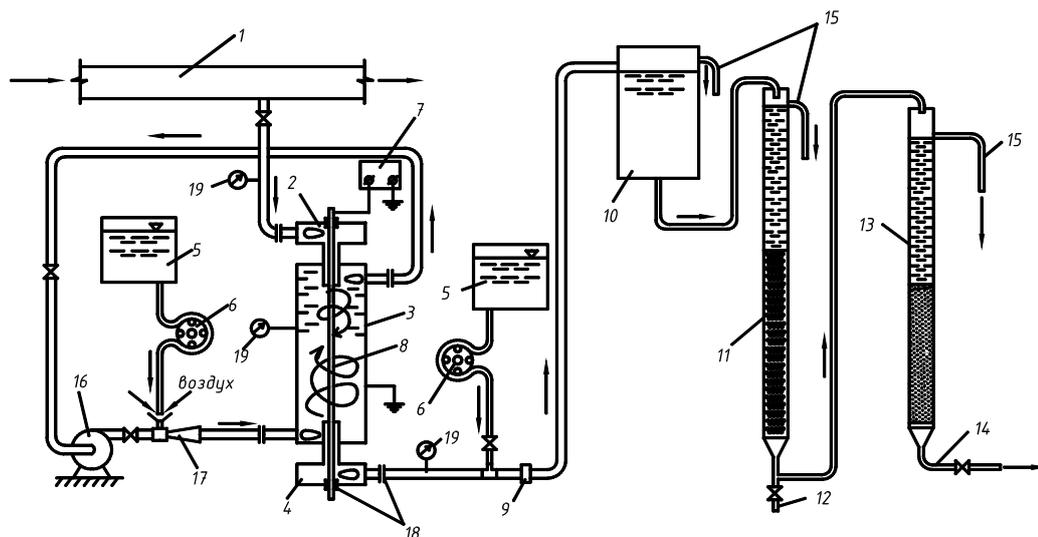


Рис.2. Схема лабораторной установки реагентного обезжелезивания с ЭГДУ:

- 1 – напорный трубопровод; 2 – входная камера; 3 – корпус ЭГДУ; 4 – выходная камера;
 5 – расходные баки реагентов; 6 – насосы-дозаторы реагентов; 7 – источник постоянного тока;
 8 – центральный стержень; 9 – дросселирующее устройство; 10 – воздухоотделитель;
 11 – контактный фильтр; 12 – патрубок отбора проб; 13 – осветлительный фильтр; 14 – отвод очищенной воды; 15 – переливной трубопровод; 16 – циркуляционный насос; 17 – эжектор;
 18 – диэлектрические вставки; 19 – манометры

На лабораторной установке было предусмотрено введение реагентов в двух точках:

- в воздушный патрубок эжектора 17 на рециркуляционной линии ЭГДУ;
- на отводящем трубопроводе водовоздушной смеси от ЭГДУ перед дросселирующим устройством 9.

Дозирование реагентов производилось из расходных баков 5 двумя перистальтическими насосами-дозаторами 6. Через воздушный патрубок эжектора 17 осуществлялся также забор атмосферного воздуха, который смешивался вначале с рециркуляционным потоком, а затем и со всем объемом воды в корпусе ЭГДУ. Соотношение расходов эжектируемого воздуха и рециркуляционной воды составляло 1:1.

На первом этапе исследований, выполняемых на лабораторной установке, производилось сравнение эффективности очистки при использовании различных типов коагулянтов. В качестве минеральных коагулянтов применялись сернокислый алюминий и полиоксихлорид алюминия (ПОХА), в качестве органических реагентов – катионный коагулянт FL-45С (ДАДМАХ), анионный флокулянт AN 945 и катионный флокулянт FO 4240 (МАДАМ). Анализ концентраций железа в воде производился в соответствии со стандартными методиками [3].

В экспериментах с минеральными коагулянтами и использованием ЭГДУ с 10 %-й рециркуляцией водовоздушной смеси наблюдалось плавное снижение остаточного железа при увеличении доз вводимых реагентов. При дозах реагентов выше 25 мг/л происходила стабилизация эффекта очистки, который достигал 84 % для $Al_2(SO_4)_3$ (остаточное содержание железа 0,8 мг/л) и 92 % для ПОХА (остаточное содержание железа 0,4 мг/л). В экспериментах при 20 %-й рециркуляции наблюдалось улучшение эффекта очистки и снижение остаточных концентраций железа в очищенной воде после осветлительного фильтра до 0,65 мг/л для $Al_2(SO_4)_3$ и до 0,3 мг/л для коагулянта ПОХА. При 35 %-й рециркуляции водовоздушной смеси в ЭГДУ результаты очистки практически не улучшались.

При увеличении доз органических реагентов от 0,05 до 0,25-0,27 мг/л в случае 10 %-й рециркуляции наблюдалось уменьшение концентраций остаточного железа в

воде до 1,3 мг/л для FL-45С и до 0,85 мг/л для FO 4240. Далее при увеличении доз реагентов от 0,25 до 0,5 мг/л и выше эффект очистки ухудшался. Использование воздушных пузырьков при 20 %-й рециркуляции потока в ЭГДУ улучшало конечный эффект очистки, при этом концентрации остаточного железа были на уровне 1,15 мг/л для FL-45С и 0,75 мг/л для FO 4240 при оптимальных дозах 0,25-0,27 мг/л. Использование анионного флокулянта AN 945 оказалось малоэффективным по сравнению с катионными органическими реагентами ($Fe_{\text{ост}}=1,7-1,8$ мг/л). Это может быть объяснено тем, что железоорганические комплексы, находящиеся в подземной воде, имели общий отрицательный заряд гидрозолей.

Как показали эксперименты, анодная поляризация центрального стержня при использовании как органических, так и минеральных коагулянтов во всем диапазоне применяемых дозировок ухудшала качество фильтрата по соединениям железа по сравнению с экспериментами второго этапа, т.е. без наложения электрического поля. Для катодной поляризации центрального стержня ЭГДУ плотность тока на катоде изменялась от 4,8 до 16,3 А/м² при увеличении напряжения на электродах от 12 до 48 В. В данном варианте наблюдалось улучшение эффекта очистки по сравнению с данными экспериментов, полученными без наложения электрического поля практически во всем диапазоне доз реагентов и значений напряжения на электродах. Наиболее значимые результаты были достигнуты при напряжении на электродах 48 В и удельном количестве электричества $q=8,3 \cdot 10^{-2}$ А·ч/м³.

На втором этапе лабораторных экспериментов были изучены возможности уменьшения доз минерального коагулянта ПОХА и улучшения качества очистки воды при его совместном использовании с органическими реагентами AN 945 и FO 4240, выполняющими роль флокулянтов. Ввод флокулянтов AN 945 и FO 4240 осуществлялся в трубопровод водовоздушной смеси после ЭГДУ.

Содержание железа в исходной воде в течение экспериментов было в пределах 5,1-5,3 мг/л. Дозы коагулянта ПОХА варьировались в пределах 10-17,5 мг/л, дозы флокулянтов AN 945 и FO 4240 – от 0,1 до 0,2 мг/л. Результаты экспериментальных данных приведены на рис.3. Как видно из графиков, наилучшие результаты очистки воды от железа после реагентной обработки и двухступенчатого фильтрования были достигнуты при дозах ПОХА $D_k=15-17$ мг/л с добавлением флокулянта FO 4240 с дозами $D_p=0,15-0,2$ мг/л ($Fe_{\text{ост}}=0,12-0,14$ мг/л, эффект очистки 97,3 %). При дальнейшем увеличении доз FO 4240 эффект очистки воды от железа практически не повышался.

Полученные данные позволяют сделать вывод о нецелесообразности использования анионного флокулянта AN 945 при очистке природных вод, содержащих железоорганические комплексы (кривые 1 и 2, рис.3).

Экспериментальные данные по удалению взвешенных веществ из подземной воды и снижению её перманганатной окисляемости показали, что при совместном использовании коагулянта ПОХА ($D_k=17-17,5$ мг/л) и FO 4240 ($D_p=0,15-0,2$ мг/л) достигается уменьшение мутности воды с 16–17 до 1 мг/л и менее, что соответствует требованиям, предъявляемым к добавочной воде ТЭЦ ($M_{\text{ост.тр}} \leq 1$ мг/л). При дозах коагулянта ПОХА и флокулянта FO 4240 соответственно $D_k=16-17$ мг/л и $D_p=0,2$ мг/л снижается перманганатная окисляемость подземной воды после двухступенчатого фильтрования с 8-9 до 3 мгО/л и менее, что соответствует требованиям, предъявляемым к добавочной воде ТЭЦ ($PO_{\text{ост.тр}} \leq 3$ мгО/л).

При обработке исходной подземной воды реагентами (ПОХА и FO 4240) без применения ЭГДУ снижение мутности и перманганатной окисляемости воды после двухступенчатого фильтрования до уровней, соответствующих требованиям, предъявляемым к добавочной воде ТЭЦ-3, достигалось при дозах коагулянта ПОХА $D_k=32-34$ мг/л и флокулянта FO 4240 $D_p=0,2$ мг/л, а также расходе воздуха 4 л на 1 г удаляемого железа. Таким образом, использование ЭГДУ для предварительной обработки подземных вод, содержащих железоорганические комплексы, позволяет снизить дозу коагулянта в 1,9–2 раза.

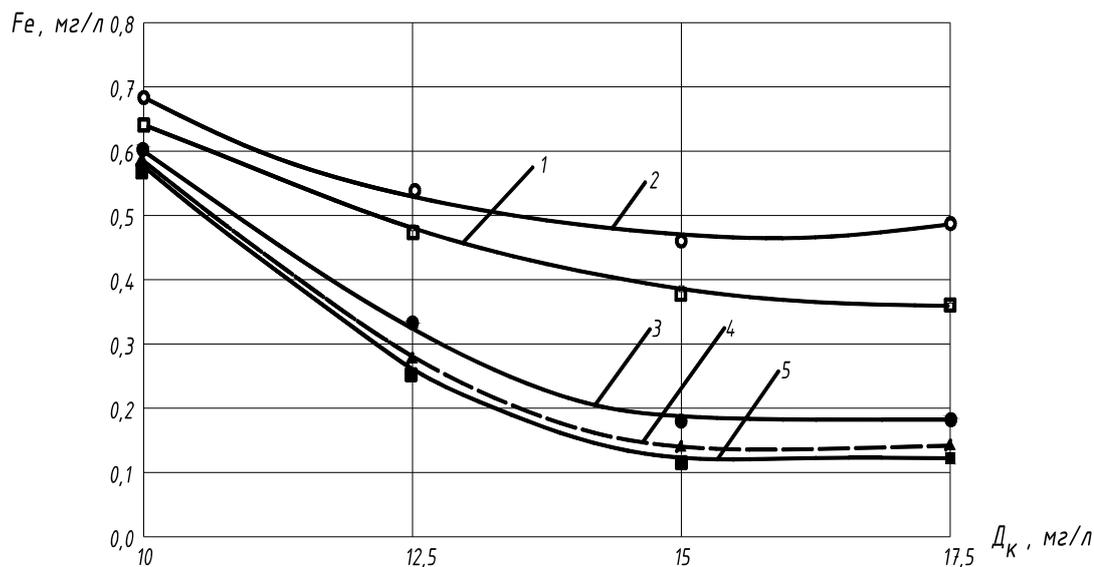


Рис.3. Графики зависимостей остаточного содержания в воде железа от доз коагулянта ПОХА при 20 %-й рециркуляции водовоздушной смеси, катодной поляризации центрального стержня ЭГДУ и добавлении различных доз D_p органических реагентов:

1 и 2 – AN 945 соответственно при $D_p=0,1$ и $0,2$ мг/л; 3,4 и 5 – FO 4240 соответственно при $D_p=0,1$; $0,15$ и $0,2$ мг/л

На основе проведенных экспериментов была разработана новая технология очистки подземных вод от трудноокисляемых комплексных органических форм железа с использованием ЭГДУ, рекомендованная к внедрению на участке водоподготовки ТЭЦ-3 г. Кузнецка Пензенской области.

Внедрение данной технологии позволило повысить качество очистки воды в соответствии с требуемыми техническими нормативами при одновременном снижении доз коагулянта.

Список литературы

1. Кафаров, В.В. Основы массопередачи / В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1972.
2. Кутателадзе, С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – М.: Энергия, 1976.
3. Карюхина, Т.А. Контроль качества воды / Т.А. Карюхина, И.Н. Чурбанова. – М.: Стройиздат, 1986.

References

1. Kafarov, V.V. Foundations of mass transfer / V.V. Kafarov/ – M.: Higher school, 1972.
2. Kutateladze, S.S. Hydrodynamics of gas-water systems / S.S. Kutateladze, M.A. Styrikovich. – M.: Energy, 1976.
3. Karyuhina, N.A. Control of water quality / N.A. Karyuhina, I.N. Churbanova – L.: СІРН, 1986.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Вилкова Наталья Георгиевна,

доктор химических наук,
профессор кафедры «Химия»

Тел.: 8(8412)546851

E-mail: ngvilkova@mail.ru

Дорчина Ольга Васильевна,

аспирант кафедры «Химия»

Тел.: 8(8412)42 05 02

E-mail: postmaster @ pgasa.penza.com.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Vilkova Natalya Georgievna,

Doctor of chemistry,
Professor of the department «Chemistry»

Tel.: 8(8412)54 68 51

E-mail: ngvilkova@mail.ru

Dorchina Olga Vasilyevna,

Postgraduate of the department «Chemistry»

Tel.: 8(8412)42 05 02

E-mail: postmaster @ pgasa.penza.com.ru

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МОЛОЧНЫХ КОМБИНАТОВ МЕТОДОМ ПЕННОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ

Н.Г. Вилкова, О.В. Дорчина

Рассмотрена возможность применения для очистки сточных вод молочных комбинатов процесса пенного концентрирования белка из молочной сыворотки и ее раствора с добавлением гидроксида кальция. Представлены результаты исследования влияния кратности и капиллярного давления в пене на коэффициент концентрирования.

Ключевые слова: молочные комбинаты, сточные воды, пена, очистка пенным концентрированием.

MILK FACTORIES WASTE WATER PURIFICATION WITH THE HELP OF FOAM ADSORPTION

N.G. Vilkova, O.V. Dorchina

The experimental studies devoted to the peculiarities of foam adsorption accumulation of the protein from the waste water in the polyhedral (dry) foam are discussed. The dependences of the accumulation coefficient on the expansion factor and on the capillary pressure of the polyhedral foam from protein are analyzed.

Keywords: milk factories, waste water, foam, purification with the help of the foam adsorption accumulation.

Очистка сточных вод молочных комбинатов и утилизация азотсодержащих веществ являются актуальными задачами. Традиционные методы получения белков – их экстракция из биологических материалов различными буферными смесями, смесями органических реагентов того или иного состава, водными растворами органических кислот, разбавленными растворами щелочей и др. [1].

Из буферных смесей на основе неорганических солей применяют фосфатные буферные смеси со значениями pH от 4,49 до 9,19, боратные буферные смеси со значениями pH от 5,5 до 12,38 и др. В последние годы усиливается проникновение в белковую химию буферных систем на основе органических соединений. Для этой цели используются водные растворы глицерина, водонасыщенный раствор фенола и др. Из органических растворителей для селективной экстракции белков применяют ацетон, диоксан, этиловый и пропиловый спирты, формамид.

Хорошо известными методами извлечения белков являются также методы фракционирования. Белки фракционируют тепловой денатурацией, высаливанием, осажде-

нием ионами тяжелых металлов, органическими растворителями, ультрацентрифугированием. Некоторые из перечисленных методов пригодны лишь для очень грубого, первичного разделения белковых смесей (тепловая денатурация, высаливание), другие позволяют получать более узкие по составу белковые фракции (осаждение органическими растворителями), третьи обеспечивают тонкое фракционирование белковых смесей вплоть до выделения индивидуальных белков (ультрацентрифугирование, электрофорез). При фракционировании белков путем высаливания наиболее часто применяют сульфат аммония. Высаливание белков зависит от природы и концентрации соли, pH среды и температуры. Из органических растворителей, кроме метанола и этанола, для фракционирования белков используют серный эфир, ацетон, диоксан. Как и в ряде других случаев, здесь очень велика опасность денатурации белков, и поэтому регулирование pH, температуры и продолжительности обработки крайне существенно.

Из различных вариантов хроматографического фракционирования в практику прочно вошли ионообменная хроматография на К- и СЕ-целлюлозах и хроматография средства на специфических носителях.

Фракционирование белков ультрацентрифугированием впервые было осуществлено А.Тизелиусом, К.Перерсоном и Т.Свербергом в 1937 г., когда они в ячейку ультрацентрифуги вмонтировали пористую перегородку, препятствующую перемешиванию белков, разделенных в процессе ультрацентрифугирования вследствие различной скорости оседания, белковых молекул с разной молекулярной массой. Широкое применение в препаративном разделении белков методом ультрацентрифугирования нашли фракционирование в градиенте плотности, создаваемом раствором сахарозы или хлорида цезия.

Метод осаждения ионами тяжелых металлов основан на взаимодействии ионов ртути, цинка, кальция, свинца и других тяжелых металлов с реакционноспособными аминокислотными радикалами белковой молекулы.

Перечисленные методы используются для выделения белков из различных биологических объектов. Однако некоторые из них (выделение белков солями тяжелых металлов, экстракция органическими веществами) находят ограниченное применение вследствие сложности процесса.

Для извлечения белка из молочной сыворотки был применен метод адсорбционного концентрирования в пене, который является достаточно простым, экологически чистым и не требует использования каких-либо дополнительных химических реагентов.

Процесс пенного концентрирования зависит от поверхностной активности ПАВ, устойчивости пены и содержания жидкой фазы в ней [2].

Эффективность метода значительно повышается при использовании «сухих» пен. Высокократные «сухие» пены получают путем создания большого перепада давления в каналах Плато – Гиббса. Пена приводится в соприкосновение с пористой перегородкой. Под перегородкой создается пониженное давление, причем перепад давления не должен превышать максимального капиллярного давления пор фильтра [2].

В пене, сообщающейся с пористой перегородкой, возникает перепад давлений. Это ускоряет синерезис и приводит к образованию «сухой» пены с высоким капиллярным давлением.

В работах [3,4] рассматриваются закономерности адсорбционного концентрирования в пенах с высоким капиллярным давлением. Степень концентрирования рассчитывается с использованием соотношений

$$R_F = \frac{C_F}{C_0} = \frac{C_f}{C_0} + \frac{\Gamma \cdot n}{0,37a_0C_0}, \quad (1)$$

где C_f – концентрация ПАВ в объемных частях пены – каналах и пленках без учета адсорбционных слоев; C_F – суммарная концентрация ПАВ в пене; C_0 – начальная концентрация раствора; Γ – адсорбция.

Отметим, что коэффициент концентрирования (согласно зависимости 1) значительно возрастает для пен высокой кратности ($n=1000$ и более). В работе [4] показано, что метод осушения пены путем создания в ней высокого капиллярного давления

может быть с успехом использован для концентрирования не только ПАВ, являющихся хорошим пенообразователем, но и плохих стабилизаторов пены. При этом предложено вести концентрирование совместно с хорошими пенообразователями.

В частности, было установлено [5], что пена из растворов желатины (при $\text{pH}=6,8-7$) без добавок ионогенного ПАВ додецилсульфата натрия (DDSNa) очень неустойчива по отношению к приложенному перепаду давления и интенсивно разрушается вблизи пористой перегородки, что приводит к мгновенному отделению пены от фильтра даже при малых перепадах давления. Добавление ПАВ в исходный раствор способствует образованию устойчивой высокократной ($n=2000$) пены. Отметим, что степень концентрирования желатины в динамической пене ниже значений, определенных в статических условиях. В частности, в [5] представлена степень концентрирования, полученная при указанных условиях и составляющая соответственно 100 и 50 в статической и движущейся пене, что обусловлено снижением кратности в процессе уноса жидкости. Подобное увеличение устойчивости, кратности и коэффициента концентрирования наблюдали при извлечении белка — химотрипсина из раствора в смеси с DDSNa при $\text{pH}=7,8$. При этом степень концентрирования белка, который не дает устойчивой пены в отсутствие DDSNa, значительно возрастает.

В случае низина, малая концентрация которого в культуральной жидкости не позволяет получать устойчивую пену, в качестве пенообразователя применяли Tween 80 [3].

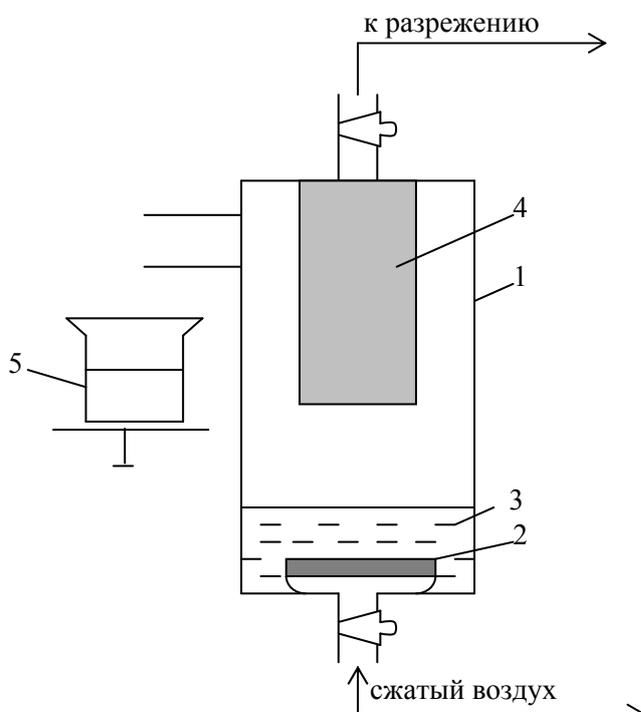


Схема установки для исследования адсорбционного концентрирования:

1 – пеногенератор; 2,4 – пористые фильтры; 3 – раствор пенообразователя; 5 – стеклянный стакан

руемый сосуд. Образующаяся пена поступала в стеклянный стакан 5. В ячейке 1 пену осушали (подключением пористого фильтра 4 к сосуду с разрезанием) и проводили измерение электропроводности (на выходе из пеногенератора 1) с помощью никелевых электродов, подключенных к кондуктометру. Кратность рассчитывали по формуле

$$n = \frac{R_F}{R_0 \cdot B},$$

где R_F – электрическое сопротивление пены; R_0 – сопротивление слоя жидкости, высота которого равна высоте пены; B – коэффициент формы, равный 1,5 [1].

С использованием описанных в [5] закономерностей были проведены лабораторные исследования процесса адсорбционного концентрирования белка из молочной сыворотки.

На рисунке представлена схема установки для изучения процесса пенного концентрирования белка из молочной сыворотки. Пену получали в генераторе 1 продуванием сжатого воздуха через пористую перегородку 2. В отдельных опытах было установлено, что образование пены зависит от температуры исходной сыворотки (молочная сыворотка при температуре 20–25 °С образует грубодисперсную неустойчивую пену).

Экспериментально установлено, что максимальное количество пены образуется при температуре 40–45 °С. Для этого исследуемую сыворотку предварительно нагревали до 42 °С, а пеногенератор, изображенный на рисунке, помещали в термостати-

Для разработки оптимального режима выделения белка из молочной сыворотки было проведено исследование устойчивости белковой пены методом Foam Pressure Drop Technique [2]. Слой пены высотой 2 см помещали в ячейку с пористым фильтром с целью определения влияния приложенных перепадов давления на ее устойчивость и кратность. В табл. 1 представлены полученные результаты по выяснению влияния степени осушения пены на ее сопротивление R_F и кратность n .

Т а б л и ц а 1

Зависимость кратности пены от приложенного перепада давления

R_F	n	$\Delta P, \text{Н/м}^2$
$7 \cdot 10^3$	82	$8 \cdot 10^2$
10^4	118	10^3

Время жизни пены высотой 2 см не превышало 10 минут при приложенных к пене давлениях, равных $8 \cdot 10^2$ и 10^3 кПа (см. табл. 1). Дальнейшее увеличение приложенного к пене давления ($\Delta P > 10^3 \text{ Н/м}^2$), а следовательно, уменьшение пористости металлического фильтра от 4 до 40 мкм не приводили к эффективному осушению пены вследствие накопления органических веществ в порах самого фильтра. В связи с этим осушение пены в дальнейшем проводили с помощью фильтров, изготовленных из металлической сетки с размером ячеек не менее 80 мкм, при приложенном перепаде давления 10^3 Н/м^2 .

Практический интерес представляет анализ количества белка, содержащегося в пене. Для этого пену на выходе из пеногенератора 1 (см. рисунок) собирали в отдельный сосуд в течение 1-1,5 часа. Проводили анализ общей органической фазы в исходной сыворотке, в пенном продукте и в оставшейся после вспенивания сыворотке. Для этого определенное количество исследуемой жидкости помещали в предварительно взвешенные и прокаленные при 600°C в течение 30 минут тигли. Тигли с растворами устанавливали в сушильный шкаф и прокаливали при 100°C до постоянного веса для удаления воды. Тигли взвешивали и затем прокаливали при 600°C для определения количества неорганических солей в исследуемых образцах.

В отдельных опытах проводили также анализ содержания белка в каждой пробе по спиртовой методике [2]. Для этого пробу исследуемого раствора объемом 10 мл заливали 20-30 мл спирта. Образовавшийся осадок фильтровали на тонкопористом бумажном фильтре. Осадок сушили и взвешивали (табл.2, опыты 1, 2).

В табл.2 представлены также результаты опытов с дополнительным осушением пены в пеногенераторе 1 с помощью метода Foam Pressure Drop Technique [2]. Подключенный к фильтру 4 (см. рисунок) перепад давления был равен 10^3 Н/м^2 . Как видно из табл. 2, дополнительное осушение пены на выходе из пеногенератора приводит к увеличению степени концентрирования R_F . Отметим, что представленная в таблице степень концентрирования в опытах 1 и 2 равна отношению количества белка в пене к его количеству, оставшемуся в сыворотке.

Т а б л и ц а 2

Зависимость кратности пены от приложенного перепада давления

Исследуемый раствор – исходная молочная сыворотка	Содержание белка, %			Степень концентри- рования	Метод анализа белка
	в исходном растворе	в пене	в остатке		
1. Опыт без осушения	1,1	1,9	0,7	2,72	Анализ
2. Опыты с осушением ($\Delta P = 0,01 \text{ атм}$)	1,1	2,1	0,7	3	спиртовым методом

Для увеличения устойчивости пены в исходную сыворотку добавляли гидроксид кальция в количестве 0,02 г на 100 мл сыворотки. В этом случае анализ общей органической фазы в исходной сыворотке – в пенном продукте и в оставшейся после

вспенивания сыворотке – проводили методом прокаливания при 600 °С, а степень концентрирования в этом случае представляет собой отношение общего количества органических веществ в пене (выраженное в %) к их количеству в оставшейся сыворотке и равна 1,6. Лабораторные исследования являются основой для разработки и заводских испытаний установки адсорбционного концентрирования белка из молочной сыворотки.

Для опытной установки использовали емкость высотой 52 см, объемом 30 л. Пену получали с помощью стеклянных фильтров (5 штук) ПОР-40 с размером пор 20 мкм. Число осушающих элементов, общая площадь которых составляет 516 см², равно 4. Расстояние между элементами 2-3 см. Производительность установки по пене составляет 10 м³/(м²·ч). Необходимо подчеркнуть, что полученные пены с повышенным содержанием белка являются ценным продуктом для изготовления биологически активных добавок.

Таким образом, результатами проведенных исследований являются:

- разработка оптимального режима выделения белка из сточной воды молочного комбината;
- увеличение концентрации белка в пене по сравнению с его содержанием в исходной сточной воде;
- разработка рекомендаций по проектированию опытной установки для выделения белка из молочной сыворотки в производственных условиях.

Список литературы

1. Филиппович, Ю.Б. Биохимия белка и нуклеиновых кислот / Ю.Б. Филиппович. – М.: Химия, 1969. – С.5–23.
2. Ezerowa, D. Foam and foam films. Theory, experiment, application. Elsevier Science / D. Ezerowa, P.M. Kruglyakov. – Amsterdam, 1998. – 773 p.
3. Кругляков, П.М. Закономерности адсорбционного концентрирования поверхностно-активных веществ в пене с высоким капиллярным давлением в каналах Плато – Гиббса / П.М. Кругляков, Л.Л. Кузнецова // Коллоид. журн. – 1978. – Т.40, №4. – С.682–687.
4. Kruglyakov, P.M. Adsorption accumulation and separation of dissolved substances in dry foams // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2010. – V. 15. – P.382–391.
5. Вилкова, Н.Г. Пенное концентрирование желатины из ее растворов, содержащих додецилсульфат натрия / Н.Г. Вилкова, Т.Н. Хаскова, П.М. Кругляков // Коллоид. журн. – 1995. – Т.57, №6. – С.741–744.

References

1. Filippovich, U.B. Biochimiya belka i nukleinovykh kislot / U.B. Filippovich. – M.:Chimiya, 1969. – P.5–23 (In russian)
2. Ezerowa, D. Foam and foam films. Theory, experiment, application. Elsevier Science / D. Ezerowa, P.M. Kruglyakov. – Amsterdam, 1998. – 773 p.
- 3.Kruglyakov, P.M. Zakonomernosty adsorbtsionnogo koncentrirovanya poverchnostno-aktivnykh veshstv v pene s vysokim kapillyarnym davleniem v kanalach Plato-Gibbsa / P.M. Kruglyakov, L.L. Kuznetsova // Kolloidnyi Dgurnal. – 1978. – V.40, №4. – P.682–687 (In Russian).
4. Kruglyakov, P.M. Adsorption accumulation and separation of dissolved substances in dry foams // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2010. – V. 15. – P.382–391.
- 5.Vilkova, N.G. Foaming concentration of gelatine from it's solution containing sodium Dodecyl sulfate / N.G. Vilkova, T.N. Khaskova, P.M. Kruglyakov // Colloid Journal. – 1995. – V.57, №6. – P.741–744.

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

Прохоров Сергей Григорьевич,
кандидат технических наук,
профессор кафедры «Теплогасоснабжение
и вентиляция»
Тел.: 8(412) 92-94-10
E-mail: kozhunov@yandex.ru

Родионов Юрий Владимирович,
доктор технических наук, профессор
Тел.: 8(412) 49-83-30
E-mail: dekauto@pguas.ru

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор, декан,
почетный строитель РФ, почетный работник
высшего профессионального образования
Тел.: (8412) 494847
E-mail: zig@pguas.ru

Кожунов Антон Алексеевич,
аспирант кафедры «Теплогасоснабжение
и вентиляция»
Тел.: +79022053836
E-mail: kozhunov@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

Prohorov Sergey Grigorievich,
Candidate of Science,
Professor of the department «Heat, gas supply
and ventilation»
Tel.: 8(412) 92-94-10
E-mail: kozhunov@yandex.ru

Rodionov Juri Vladimirovich,
Doctor of Science, Professor
Tel.: 8(412) 49-83-30
E-mail: dekauto@pguas.ru

Tarakanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Science, Professor, Decan,
Honorary builder of Russia, Honored Worker
of High Professional Education
Tel.: (8412) 494847
E-mail: zig@pguas.ru

Kozhunov Anton Alekseevich,
Postgraduate of the department «Heat, gas
supply and ventilation»
Tel.: +79022053836
E-mail: kozhunov@yandex.ru

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ «СУХОГО» ТИПА*

С.Г. Прохоров, Ю.В. Родионов, О.В. Тараканов, А.А. Кожунов

Проведена оценка рассеивания выбросов загрязняющих веществ газифицированных котлов малой мощности при применении теплоутилизаторов «сухого» типа. Приведены результаты расчетов загрязнения атмосферы в зависимости от изменения температуры уходящих газов.

Ключевые слова: утилизация теплоты, котлы малой мощности, загрязнение воздушного бассейна.

ASSESSMENT OF ATMOSPHERE POLLUTION BY EMISSIONS FROM GASIFYING FURNACES OF SMALL CAPACITY USING HEAT EXCHANGES OF «DRY» TYPE

S.G. Prohorov, J.V. Rodionov, O.V. Tarakanov, A.A. Kozhunov

The article gives estimation of pollutant emissions of Gasifying furnaces of small capacity using heat exchanges of the «dry» type. The calculation results of atmospheric pollution, depending on the temperature of exhaust gases are given.

Keywords: utilization of heat, small capacity boilers, air pollution.

* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (госконтракт № 16.740.11.0069).

Введение

В настоящее время проблема энергосбережения и энергоэффективности является важнейшей из приоритетов государственной экономической политики. Одно из перспективных направлений повышения энергоэффективности котельных установок – это использование теплоты уходящих дымовых газов.

Утилизация теплоты дымовых газов предполагает, что продукты сгорания охлаждаются в теплоутилизаторах (конденсационных – «мокрых», поверхностных – «сухих», контактных и др.). Однако снижение температуры дымовых газов, помимо получения определенного экономического эффекта, приводит к изменению условий рассеивания вредных выбросов. Значительное ухудшение рассеивания при снижении температуры уходящих газов требует установки тягодутьевого оборудования или реконструкции дымовой трубы. Следовательно, увеличиваются капитальные вложения на ремонт и эксплуатацию этого оборудования.

Публикации, посвященные загрязнению атмосферы теплогенерирующими установками, практически не затрагивают вопросы зависимости величины загрязнения от температуры уходящих газов.

Ниже рассматривается экологическое обоснование возможности установки теплоутилизационного оборудования с газифицированными котлами малой мощности в зависимости от температуры выброса.

Оценка возможности применения теплоутилизаторов различного типа с котлами малой мощности.

Использование утилизаторов тепла равносильно повышению КПД котельных, следствием которого является снижение расхода топлива, а пропорционально этому – снижение выбросов вредных веществ. Практически любые мероприятия, направленные на энергосбережение, способствуют уменьшению поступления в атмосферу загрязняющих веществ. Защита атмосферы от загрязнения имеет не только технико-экономическое, но и большое социальное значение.

Применение утилизации приводит к снижению температуры выброса, что, в свою очередь, вызывает увеличение приземной концентрации вредных веществ. Для обеспечения равнозначной концентрации возникает необходимость уменьшения количества выбросов или увеличения высоты дымовой трубы, что в итоге ведет к росту капитальных вложений. Таким образом, при снижении температуры выбрасываемых газов (в случае значительного увеличения загрязнения) необходимо предусмотреть мероприятия по уменьшению приземной концентрации вредных веществ. Если при проектировании нового объекта это учитывается в расчетах, то при установке теплоутилизаторов на действующих котельных необходимо провести поверочные расчеты и принять необходимые меры по обеспечению той же величины приземной концентрации, что и до установки теплоутилизатора [1].

Использование контактных теплоутилизаторов с орошением дымовых газов водой позволяет снизить концентрацию вредных веществ в дымовых газах. Теплотехнические испытания контактных экономайзеров показали, что при противотоке теплоносителей температура уходящих продуктов сгорания на 15-20 °С выше температуры подаваемой воды [2]. Следовательно, температура дымовых газов после контакта с орошающей водой будет составлять 40-50 °С. К недостаткам насадочных контактных камер следует отнести сравнительно большое аэродинамическое сопротивление.

Обобщенный анализ данных по применению конденсационных теплоутилизаторов различных типов и конструкций показал, что наиболее значительное снижение потерь q_2 происходит при t_{yx} менее 60 °С (для продуктов сгорания природного газа температура точки росы равна 50-60 °С).

Однако использование контактных и конденсационных теплоутилизаторов вместе с котлами малой мощности во многих случаях будет нецелесообразно в связи с трудностями в эксплуатации и ремонте такого оборудования, недостаточной подготовленностью обслуживающего персонала или его отсутствием (при работе котельной в автоматическом режиме) и т.д. Выходом из этой ситуации является установка «сухих»

теплоутилизаторов рекуперативного или регенеративного типа, более простых и надежных.

Температуру дымовых газов на выходе из «сухого» теплоутилизатора следует принимать на 15-20 °С выше температуры точки росы, чтобы исключить конденсацию продуктов сгорания в дымовой трубе.

Расчет изменения загрязнения атмосферы при использовании теплоутилизационного оборудования.

Действующие нормативные документы устанавливают, что расчёт загрязнения атмосферы должен выполняться в соответствии с ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [3]. На сегодняшний день в России существует несколько унифицированных программ расчёта загрязнения атмосферы (УПРЗА), которые реализуют «Методику...» [3] и позволяют достаточно быстро рассчитывать загрязнение воздушного бассейна и получать результаты в удобной форме. В своих расчетах мы использовали программу компании «ЭКО центр» (г. Воронеж), которая разрешена к использованию Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (г. Санкт-Петербург)).

Расчет выбросов загрязняющих веществ от котла малой мощности проводился в программе «Интеграл – Котельные», сертифицированной ОАО «НИИ Атмосфера» (г. Санкт-Петербург).

Исходные данные для проведения численного эксперимента

1. Источник загрязнения – модульная котельная производительностью 300 кВт (3 котла марки «Хопер» по 100 кВт). Дымоудаление происходит через общую дымовую трубу.

2. Тип топлива – газ (газопровод Саратов – Нижний Новгород).

3. Расход газа (на три котла) – 0,006 м³/с (41400 м³/год).

4. Высота дымовой трубы – 10 м.

5. Диаметр устья дымовой трубы – 0,133 м.

6. Район строительства – г. Пенза.

7. Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы – 180.

8. Коэффициент рельефа – 1.

Значения климатических параметров принимались в соответствии со СНИП 23-01-99* «Строительная климатология». Ориентировочная санитарно-защитная зона (50 м) принималась в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

Расчет максимально-разовых, г/с, и валовых выбросов, т/год, по программе «Интеграл – Котельные» представлен в таблице.

Выбросы загрязняющих веществ от 3-х котлов марки «Хопер»

Код	Наименование выброса	Максимально-разовый выброс, г/с	Валовой выброс, т/год
301	Азота диоксид	0,0079410	0,048766
304	Азота оксид	0,0012173	0,007925
337	Углерода оксид	0,0216780	0,149578
703	Бензапирен	0,0000000167	0,00000001154

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества c_m , мг/м³, при выбросе газозвушной смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем определяется программой «ЭКО центр» по формуле [3]:

$$c_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}} \quad (1)$$

где A – коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы; M – масса вредного вещества, г/с, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени; F – безразмерный

коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности; H – высота источника выброса над уровнем земли, м; V_1 – расход газовой смеси, м³/с, определяемый по формуле (2); ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха, °С.

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0, \quad (2)$$

где D – диаметр устья источника выброса; ω_0 – средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса.

Во время проведения численного эксперимента значения температуры выброса принимались от 70 до 200 °С с шагом 5 °С. Всего было просчитано 27 вариантов. Нижний порог температуры дымовых газов после теплоутилизатора обуславливается необходимым превышением над температурой точки росы дымовых газов с целью исключения конденсации влаги в дымовой трубе, а верхний порог – паспортными значениями для котлов малой мощности и опытом проектирования. Для котлов типа «Хопер» производитель заявляет температуру уходящих газов не менее 110 °С.

Расчеты загрязнения атмосферы оксидами азота и углерода, а также бензапиреном оказались нецелесообразными, так как значения максимальных концентраций в долях ПДК (предельно допустимой концентрации) значительно меньше константы целесообразности расчетов (5 % от значения ПДК по каждому веществу).

Целесообразными оказались расчеты загрязнения воздуха по диоксиду азота. Наибольшее значение загрязнения атмосферы установлено при температуре выброса 70 °С (0,095 ПДК), а наименьшее – при температуре выброса 200 °С (0,068 ПДК) по диоксиду азота, что подтверждает предположение об ухудшении рассеивания при снижении температуры дымовых газов. Однако это ухудшение незначительно (порядка 2,7 % ПДК).

Результаты расчетов для значений температур выбросов диоксида азота 70 и 200 °С представлены на рис. 1 и 2.

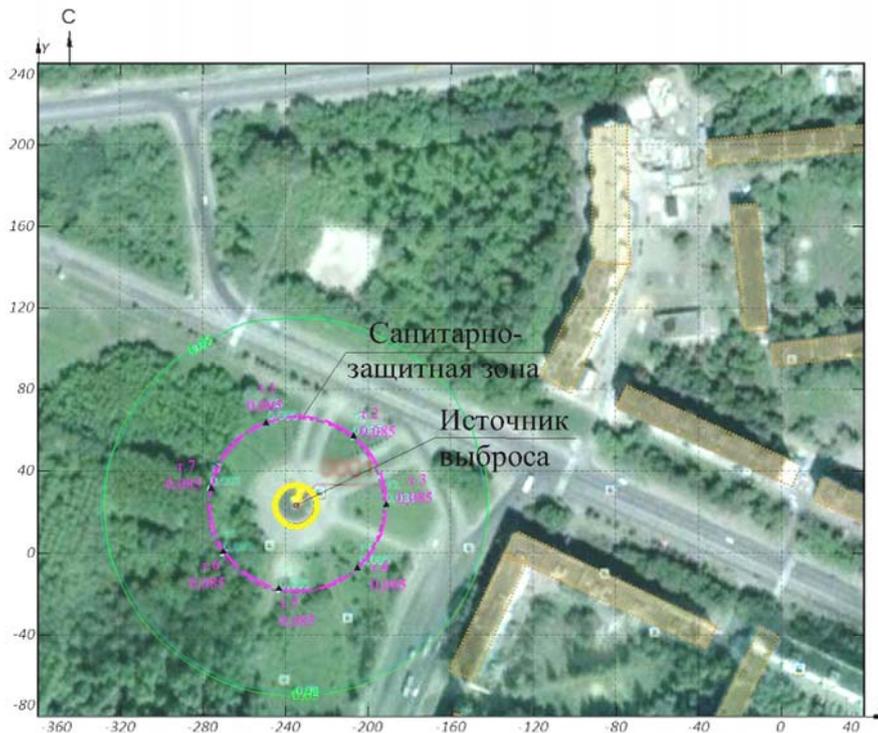


Рис. 1. Картграмма значений наибольших концентраций диоксида азота при температуре уходящих газов 70 °С

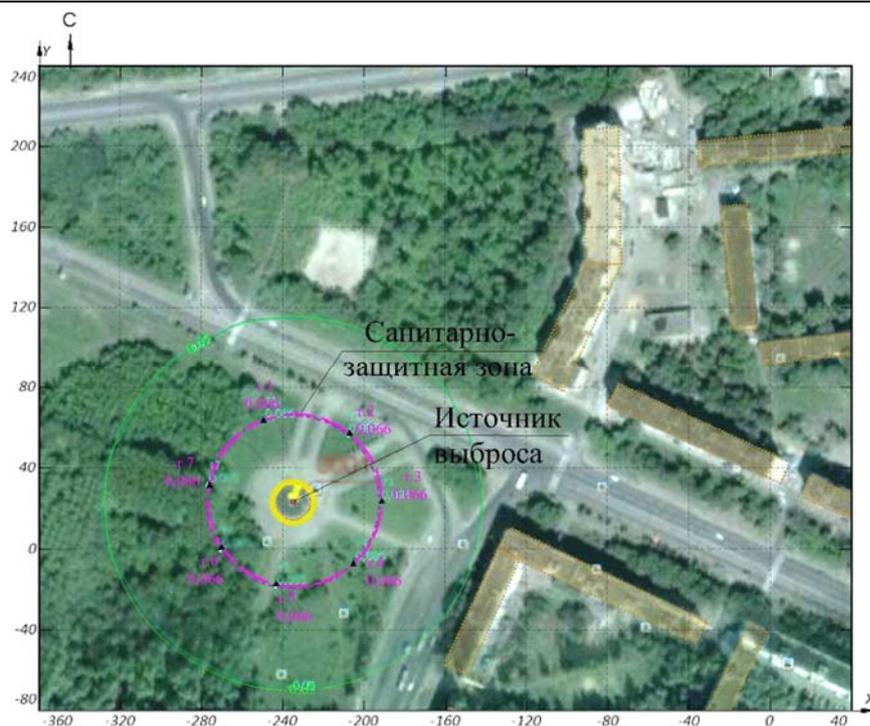


Рис. 2. Картограмма значений наибольших концентраций диоксида азота при температуре уходящих газов 200°C

При проведении расчетов не учитывались фоновые концентрации загрязняющих веществ ввиду отсутствия достоверных данных. Впрочем полученные концентрации достаточно малы, это позволяет сделать вывод о том, что наложение фоновых концентраций (в районах с нормальной экологической обстановкой) не повлечет за собой значительного увеличения уровня загрязнения воздушного бассейна.

Выводы

Показана целесообразность использования теплоутилизаторов «сухого» типа вместе с котлами малой мощности. Установлено, что снижение температуры выброса при применении таких теплоутилизаторов лишь незначительно ухудшает рассеивание загрязняющих веществ, поэтому и не может быть сдерживающим фактором в установке такого оборудования. Однако расчеты необходимо проводить с учетом конкретных климатических и географических условий, марки котла, особенностей конструкции (работы) утилизаторов теплоты дымовых газов, а также фоновых концентраций загрязняющих веществ. Наряду с экономическими и техническими критериями при установке утилизационного оборудования следует руководствоваться экологическим критерием.

Список литературы

1. Технические решения по использованию утилизаторов в котельных малой мощности. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1992.
2. Методические рекомендации по проектированию контактно-экономайзерных установок в газифицированных котельных. – Киев: НИИСТ, 1985. – 84 с.
3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 94 с.

References

1. Technical solutions for heat exchanger use in boilers of small capacity. – M.: AKH them. K.D. Pamfilov, 1992.
2. Guidelines for designing contact-ekonomayzer gasified boiler installations. – Kiev: NIIST, 1985. – 84 p.
3. Calculating methods of harmful substances concentrations in atmosphere of emissions businesses. OND-86. – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – 94 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

Иванкин Михаил Александрович,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
E-mail: Elan-Vital.85@mail.ru

Аверкин Александр Григорьевич,
кандидат технических наук, профессор
профессор кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: Elan-Vital.85@mail.ru

Грейсух Григорий Исаевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Физика»
E-mail: phisik@pguas.ru

Степанов Сергей Алексеевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Физика»
Тел: +7 (8412) 92-94-78
E-mail: phisik@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

Ivankin Mihail Aleksandrovich,
Postgraduate of the department «Heat, gas
supply and ventilation»
E-mail: Elan-Vital.85@mail.ru

Averkin Alexander Grigorievich,
Candidate of Science,
Professor of the department «Heating, Gas
supply and Ventilation»
E-mail: Elan-Vital.85@mail.ru

Greisukh Grigoriy Isaevitch,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Physics»
E-mail: phisik@pguas.ru

Stepanov Sergei Alekseevich,
Doctor of Physics and Mathematics Science,
Professor of the Department «Physics»
Tel.: +7(8412) 49-83-30
E-mail: phisik@pguas.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУХА ИЗ ПОМЕЩЕНИЯ

М.А. Иванкин, А.Г. Аверкин, Г.И. Грейсух, С.А. Степанов

Сконструирована насадка флюгерного типа, состоящая из элементов трубы Вентури на скользящей опоре. Проведены экспериментальные исследования эффективности работы насадки с применением математического метода планирования экспериментов. Получена математическая модель в виде регрессионного уравнения, описывающая влияние конструктивных и режимных параметров на скорость эжекции в вытяжном канале.

Ключевые слова: естественная вентиляция, дефлектор, труба Вентури, скользящая опора, регрессионное уравнение, скорость эжекции.

COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFICIENT WORK OF DEVICES USED FOR POLLUTED AIR REMOVAL FROM THE ROOM

M.A.Ivankin, A.G.Averkin, G.I.Greisyh, S.A.Stepanov

The deflector of «vane» type is constructed from Venturi tube parts on a sliding support. The experimental research is carried out to prove the efficiency of the attachment on the basis of mathematical method of experiments planning. A mathematical model in the form of regressive equation is worked out which explains the constructive and operating parameters influence on the ejection speed.

Keywords: free ventilation, deflector attachment, Venturi tube, sliding support, regressive equation, ejection speed.

Основной целью вентиляции является обеспечение допустимых параметров воздушной среды путем воздухообмена в помещении.

Для жилых зданий воздухообмен рассчитывают по суммарной норме вытяжки из туалетов, ванных комнат и кухни, которая в зависимости от типа кухонной плиты составляет 110–140 м³/ч, или норме притока, равной 3 м³/ч на 1 м² жилой площади.

При проектировании зданий предусматриваются системы вентиляции с естественным или механическим побуждением. В последнем случае подача воздуха в жилое помещение может осуществляться через приточную камеру, где воздух подогревается и очищается от пыли. Такие системы могут оснащаться дополнительными функциями – увлажнением, обеззараживанием приточного воздуха. Главным недостатком этой системы является высокая стоимость установки и обслуживания, что препятствует её массовому применению в жилищном строительстве. Более дешевым способом оздоровления воздушной среды является естественная вентиляция.

Системы естественной вентиляции имеют следующие достоинства:

– циркуляция воздуха в помещении обеспечивается без дополнительного энергопотребляющего оборудования – электродвигателей, вентиляторов, выключателей и т.д., что позволяет сократить бюджет строительных работ и избежать дополнительных расходов при эксплуатации здания;

– устройство естественных систем вентиляции помещений – менее затратное мероприятие, срок их безаварийной работы может исчисляться десятилетиями, а ремонтные работы по вентиляции обойдутся в минимальную стоимость;

– естественная вентиляция совместима с другими системами принудительного воздухообмена.

Естественная вентиляция зависит от двух факторов: теплового побуждения, ветрового побуждения.

Тепловое побуждение возникает в результате разности температур наружного и внутреннего воздуха, нагрева вентиляционного канала (теплом кухонных плит, нагретым влажным воздухом ванных комнат).

Ветровое побуждение – результат использования энергии ветра, «выталкивающего» отработанный воздух из вертикально расположенных вентиляционных каналов. В системах вентиляции этого типа используются дефлекторы – насадки, предназначенные для усиления тяги в воздуховодах, – действующие по принципу эффекта Бернулли.

В настоящее время усилилось внимание к интенсификации естественной вентиляции, об этом свидетельствуют разработки (новых) технических устройств – насадок (дефлекторов).

1. Разработка насадки – дефлектора флюгерного типа. Разработаны, изготовлены и проходят модернизацию насадки для удаления загрязненного воздуха из помещения. Схема насадки флюгерного типа представлена на рис. 1 [2].

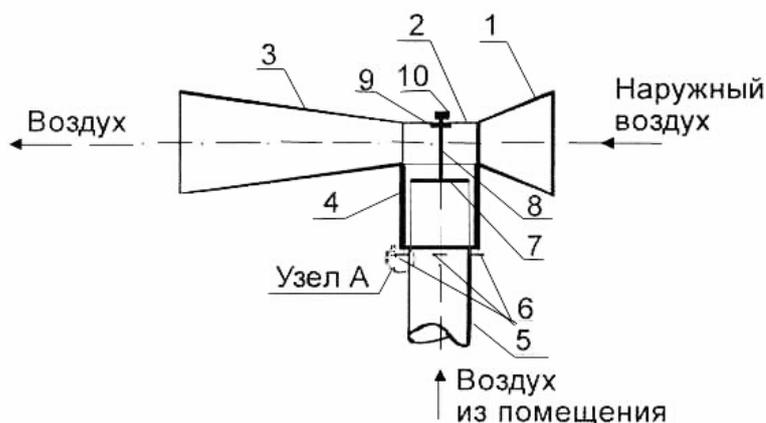


Рис. 1. Схема устройства:

1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – диффузор; 4 – патрубок; 5 – вытяжная труба; 6 – колесики; 7 – планка; 8 – шток; 9 – шайба; 10 – шплинт

Устройство представляет насадку в виде трубы Вентури, состоящей из конфузора, горловины, диффузора, канала горловины, который соединен с внутренней полостью вытяжной трубы (шахты) с помощью патрубка на скользящей основе (см. рис. 1).

Благодаря скользящей опоре насадка при смене направления ветра изменяет свое положение в пространстве (поворачивается), т.е. ведет себя, как флюгер. Причем насадка всегда будет направлена конфузуром 1 навстречу ветру, а ее удлиненная часть – диффузор 3 будет располагаться по ходу ветрового движения [2]. При данной ориентации насадки наружный воздух за счет энергии ветра последовательно проходит конфузур 1, горловину 2, диффузор 3 и выбрасывается снова в атмосферу. При этом в горловине возникает значительный эжектирующий эффект из-за снижения статического давления и повышения динамического давления. Возрастает движущая сила процесса (естественной вентиляции) – разность статического давления на входе – выходе воздуха в вытяжной трубе вентиляционной системы помещения, что способствует увеличению скорости удаляемого воздуха, т.е. его расходу, повышается воздухообмен с окружающей средой.

2. Экспериментальные исследования по оценке эффективности разработанной насадки. Для сравнительной оценки эффективности работы представленных насадок проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях и на открытом воздухе (на крыше здания, рис.2).

Эксперименты подтвердили работоспособность данных устройств.

Опыты проводились с применением математического метода планирования экспериментов [3]. Был реализован полный факторный эксперимент. ПФЭ 2^3 . Изучалось влияние конструктивных и технологических факторов на скорость эжекции воздуха в вытяжной трубе. На основе априорной информации приняты независимые переменные факторы:

– скорость воздушного потока (ветра), (5...12) м/с – X_1 ;

– ширина горловины, (20...30) мм – X_2 ;

– угол конфузора, (20...60) град. – X_3 ;

В качестве функции отклика выбрана

Y – скорость воздуха в вытяжной трубе (скорость эжекции), м/с.

Уровни варьирования факторов представлены в табл. 1, результаты реализации ПФЭ 2^3 – в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

Уровни варьирования факторов

Номер фактора	Факторы	Уровни варьирования		
		верхний (+)	основной (0)	нижний (-)
1	Скорость ветра, м/с	12	8	4
2	Ширина горловины, мм	30	25	20
3	Угол конфузора, град	60	40	20

Т а б л и ц а 2

Результаты реализации ПФЭ 2^3

Номер	Факторы			Функции отклика	\bar{Y}_u	S_u^2	\check{Y}
	2	3	4				
1	+	+	+	2,15	2,1	0,02	2,02
				2,05			
2	-	+	+	1,29	1,27	0,0032	1,11
				1,25			
3	+	-	+	1,67	1,655	0,0018	1,87
				1,64			
4	-	-	+	1,15	1,1	0,02	0,97
				1,05			
5	+	+	-	2,58	2,565	0,0018	2,37
				2,55			

1	2	3	4	5	6	7	8
6	-	+	-	1,35	1,355	0,0002	1,46
				1,36			
7	+	-	-	2,35	2,325	0,005	1,87
				2,3			
8	-	-	-	1,3	1,29	0,0008	1,32
				1,28			

Приняты следующие буквенные обозначения:

\tilde{Y}, \bar{Y}_u – значения функции отклика, полученные в опыте и по модели соответственно м/с;

S_u^2 – построчная дисперсия.

В результате [3] получено уравнение, которое имеет вид:

$$Y = 1,667 + 0,454X_1 + 0,071X_2 - 0,176X_3.$$

Из уравнения видно, что на скорость эжекции удаляемого воздуха значимо влияли все выбранные факторы: (X_1, X_2, X_3). Так же в опытах определялись коэффициенты эжекции [4], их численное значение находилось в интервале 0,46...1,30.

3. Сравнительный анализ эффективности разработанной насадки с известными дефлекторами

Аналогичная серия экспериментов проведена с применением дефлектора ЦАГИ. Сравнительная оценка эффективности работы представлена в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Сравнительная оценка работы экспериментальных насадок

Дефлектор флюгерного типа		Дефлектор ЦАГИ	
скорость потока ветра u , м/с	скорость эжекции $u_э$, м/с	скорость потока ветра u , м/с	скорость эжекции $u_э$, м/с
12	2,56	12	1,65
8	1,76	8	1,18
5	1,35	5	0,82

Из табл. 3 видно, что при равных значениях скорости воздушного потока (ветра) скорость эжекции воздуха в вытяжных каналах равного поперечного сечения была выше в дефлекторе флюгерного типа (на 55...65 %).

Также в опытах дополнительно определялось разрежение в канале горловины разработанной насадки ΔP в зависимости от скорости ветра $u_в$ (см. рис. 2).

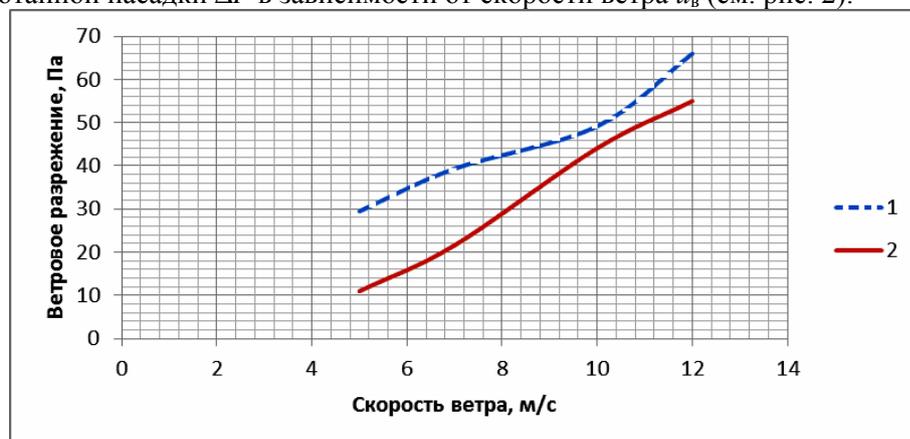


Рис. 2. Зависимость $\Delta P = f(u_в)$:

1 – для разработанной насадки (дефлектор флюгерного типа); 2 – для дефлектора ДС

Из рис.2 видно, что при равных значениях скорости ветровое разрежение выше в дефлекторе флюгерного типа, чем в статическом дефлекторе ДС, предлагаемом для широкого внедрения.

Выводы

– Разработана конструкция насадки – дефлектора флюгерного типа для систем естественной вентиляции зданий и сооружений.

– Проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности работы дефлекторов флюгерного типа и конструкции ЦАГИ.

– Получена математическая модель в виде регрессионного уравнения, адекватно описывающая влияние режимных и конструктивных параметров насадки – дефлектора флюгерного типа.

– Проведен сравнительный анализ эффективности работы дефлекторов различного типа в системе естественной вентиляции. Скорость эжекции воздуха в вытяжном канале выше на 55...65 % при применении дефлектора флюгерного типа, чем в дефлекторе ЦАГИ при соблюдении подобных условий. Ветровое разрежение в дефлекторе флюгерного типа выше, чем в известной конструкции дефлектора ДС при сопоставимых условиях.

– Экспериментальные исследования подтвердили эффективность применения разработанного дефлектора флюгерного типа для естественной вентиляции.

Список литературы

1. СНИП 2.08.01-89*. Жилые здания. – Взамен СНИП 2.08.01-89; введ. 1990-01-01. – М.: ЦИТП Госстроя России, 2000.
2. Пат. 2410608 Российская Федерация, МПК F 24 F 7/02, F 23 L 17/02. Устройство для удаления загрязненного воздуха из помещения / Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Миронов К.В., Иванкин М.А.; заявитель и патентообладатель Пенз. гос. унив. арх. стр. – № 2008122123 ; заявл.02.06.08 ; опубл. 27.01.11, Бюл. № 3. – 5 с.
3. Щекин, Р.В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. В 2 т. Т. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Р.В. Щекин, С.М. Корневский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев.: Будивельник, 1976. – 352 с.
4. Налимов, В.В. Применение математических и статических методов при анализе вещества / В.В. Налимов. – М.: ГИФМЛ, 1960. – 430 с.

References

1. SNiP 2.08.01-89*. Inhabited buildings – Instead of SNiP 2.08.09-89; introduction1990-01-01. – M.: TsITP Russia Gosstroy, 2000.
2. RF Patent 2410608 Room Ventilation Equipment, MPKF 24 F 7/02, F 23 L 17/02. /Averkin A.G., Eremkin A.I., Mironov K.V., Ivankin M.A. published B.I. № 3. – P. 5.from 27.01.2011.
3. Shchekin, R.V. Guide on heat supply systems and ventilation, the 2d bood – Ventilation and Air Conditioning / R.V. Shchekin, S.M. Korenevsky. – Version 4, revised and updated. – Kiev: Budivelnik, 1976. – P. 352.
4. Nalimov, V.V. Mathematical and statistic methods use in material analysis / V.V. Nalimov. – M.: GIFML. 1960. – P. 430.

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»
Тел.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры «Информационно-
вычислительные технологии»
Тел.: +7 (412) 42-05-03; 53-42-45;
+7 (412) 52-05-60

Салмин Владимир Васильевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Эксплуатация
автомобильного транспорта»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

Васин Михаил Евгеньевич,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
Тел.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@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

Koroleva Tamara Ivanovna,
Candidate of Econom Sciences, Professor of
the department «Heating, gas supply and
ventilation» Tel.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Ezhov Evgeniy Grigorievich,
Doctor of Physico-Mathematical Sciences,
Associate Professor of the department
«Information and computer technologies»
Tel.: +7 (412) 42-05-03; 53-42-45;
+7 (412) 52-05-60

Salmin Vladimir Vasilievich,
Doctor of Science, Professor,
Head of the department «Exploitation of
automobile transport»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

Vasin Mihail Evgenievich,
Postgraduate of the of the department
«Heating, Gas supply and ventilation»
Tel.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В ПЕНЗЕНСКОМ РЕГИОНЕ

Т.И. Королева, Е.Г. Ежов, В.В. Салмин, М.Е. Васин.

Вопросы энергоресурсосбережения и использования топливно-энергетических ресурсов представляют в настоящее время актуальную проблему. В статье рассмотрены способы её решения путем применения нетрадиционных источников энергии, а именно солнечной энергетики, которую можно использовать не только в южных регионах, но и в средней полосе России, в частности – Пензенском регионе.

Ключевые слова: солнечная радиация, тепловая энергия, солнечный коллектор, инсоляция, диффузное излучение, радиационное излучение.

SOME ASPECTS OF SOLAR RADIATION USE IN THE PENZA REGION

T.I. Koroleva, E.G. Ezhov, V.V. Salmin, M.E. Vasin

The issues of energy saving and energy resources use are very urgent nowadays. The article deals with some ways of its solving by non-conventional energy sources use and one of them is solar energy which can be used not only in southern region but in Central Russia and in the Penza region in particular.

Keywords: solar radiation, thermal energy, solar collector, insolation, diffuse radiation, radiation.

Солнечную энергию для обогрева домов использовали всегда. Становление современной «солнечной» энергетики (гелиоэнергетики) началось во второй половине XX в. и было обусловлено развитием «космических» технологий.

Наиболее благоприятные условия для широкого использования солнечной энергии существуют на территориях южнее 50-й параллели. В России – это южнее условной линии Воронеж-Саратов-Оренбург, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Преобразования солнечной энергии в тепловую или электрическую энергию можно осуществлять при помощи трех основных технико-технологических способов:

- преобразование солнечной энергии в тепловую с использованием солнечных коллекторов-водонагревателей;
- преобразование солнечной энергии в тепловую с использованием «солнечной архитектуры»;
- преобразование солнечной энергии в электрическую при помощи фотоэлектрических преобразователей (солнечных батарей) [1].

Современная солнечная энергетика достигла такого уровня, что небольшой по размерам солнечный коллектор способен полностью обеспечить потребность в горячей воде и отоплении целой семьи.

Причем солнечная энергетика – это не только привилегия южных регионов. Сегодня использовать солнечные батареи можно, и в Пензе, и в Москве, и в Санкт-Петербурге, и даже в Мурманске.

Выгода солнечных батарей очевидна: Вы только один раз тратитесь на приобретение солнечного коллектора и получаете возможность всю жизнь пользоваться горячей водой бесплатно. Роль солнца увеличивается в тех районах, где нет возможности использовать другие способы получения горячей воды (отсутствие газа, электроэнергии и так далее).

Но, к сожалению, не все так радужно. На сегодняшний день солнечный коллектор – непозволительная роскошь для большинства населения России. Для того чтобы данная установка окупилась, потребуются десятки лет. Поэтому плодами солнечной энергетикой пользуются только те, для кого это единственный источник энергии.

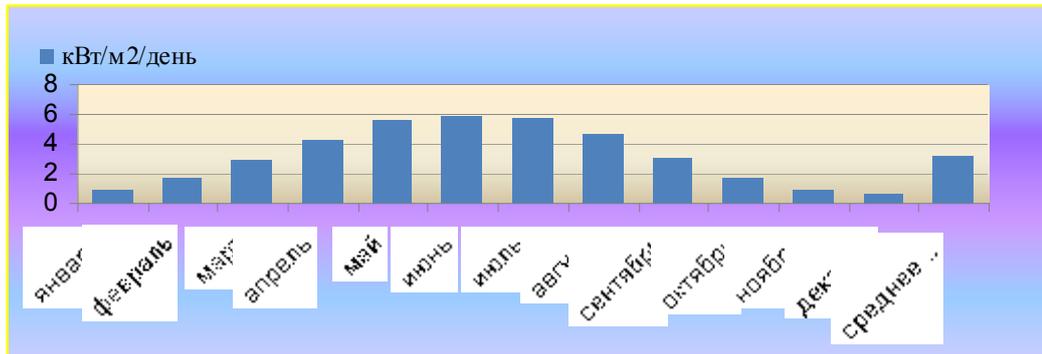
Количество полезного тепла, поглощенного солнечным коллектором, зависит от 7 параметров:

- величины поступающей солнечной энергии;
- оптических потерь в прозрачной изоляции;
- поглощающих свойств тепловоспринимающей поверхности солнечного коллектора;
- эффективности теплоотдачи от теплоприемника (от тепловоспринимающей поверхности солнечного коллектора к жидкости, т.е. от величины *эффективности теплоприемника*);
- пропускательной способности прозрачной теплоизоляции, которая определяет уровень тепловых потерь;
- температуры тепловоспринимающей поверхности солнечного коллектора, которая, в свою очередь, зависит от скорости теплоносителя и температуры теплоносителя на входе в солнечный коллектор;
- температуры наружного воздуха.

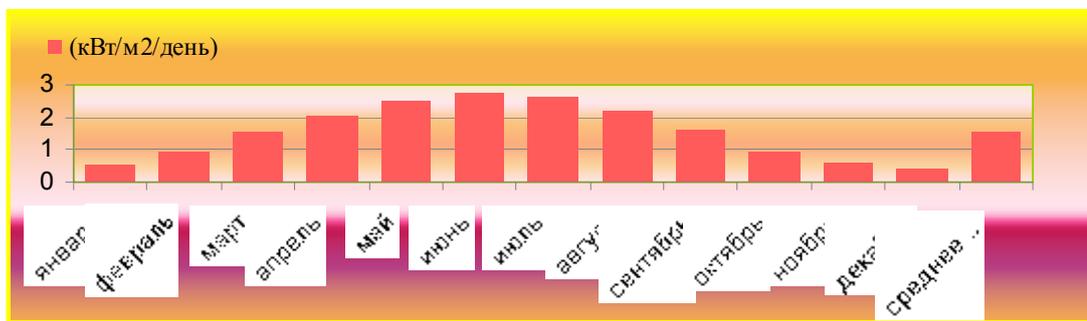
Эффективность солнечного коллектора, т.е. отношение использованной энергии и падающей, будет определяться всеми этими параметрами. При благоприятных условиях она может достигнуть 70 %, а при неблагоприятных снизиться до 30 %. Точное значение эффективности можно получить при предварительном расчете только путем полного моделирования поведения системы с учетом всех факторов, перечисленных выше. Очевидно, что такая задача может быть решена только с применением компьютера.

При грубых оценках можно считать, что средняя эффективность коллектора при температуре 40...50° в отопительный сезон составляет около 40 % [3]. Поскольку плотность потока солнечной радиации постоянно меняется, то для расчетных оценок можно пользоваться полными суммами радиации за день или даже за месяц.

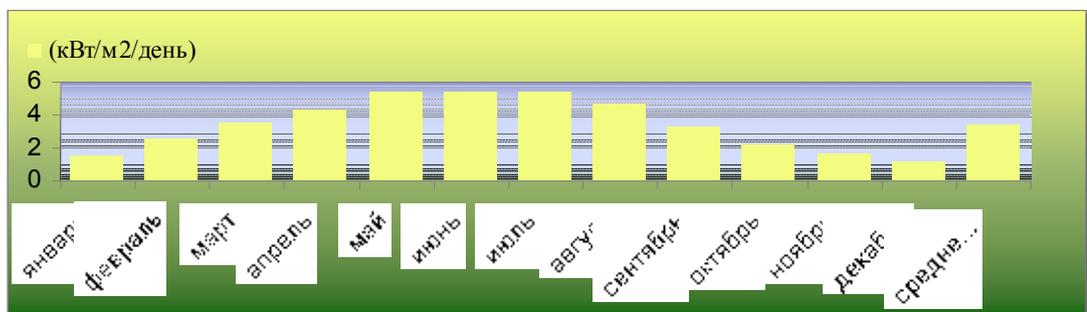
Среднемесячная инсоляция на горизонтальной поверхности (кВт/м²/день).
 Широта 53,2. Долгота 45. Среднее значение за 22 года.



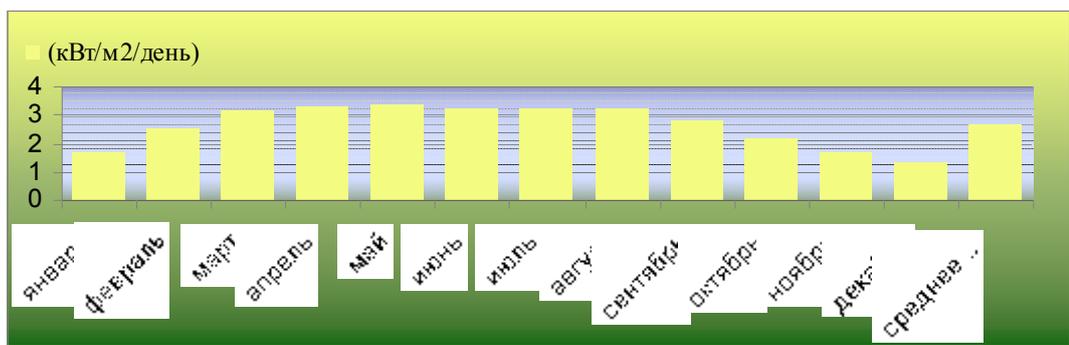
Среднемесячное диффузное излучение на горизонтальную поверхность (кВт/м²/день)



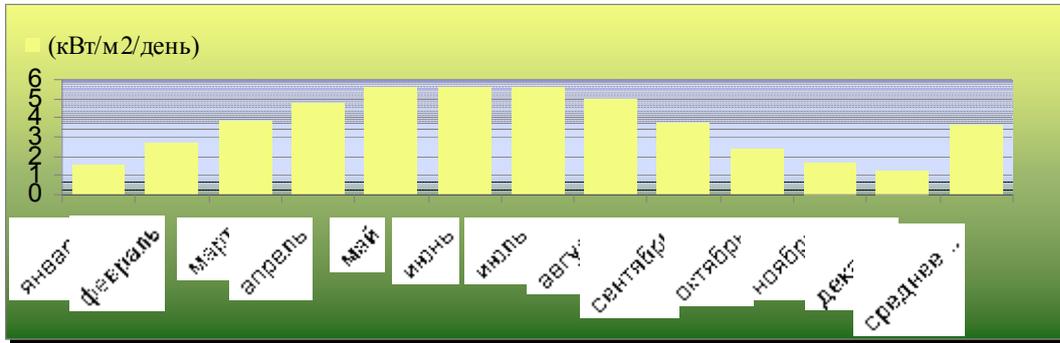
Среднемесячное прямое излучение (кВт/м²/день)



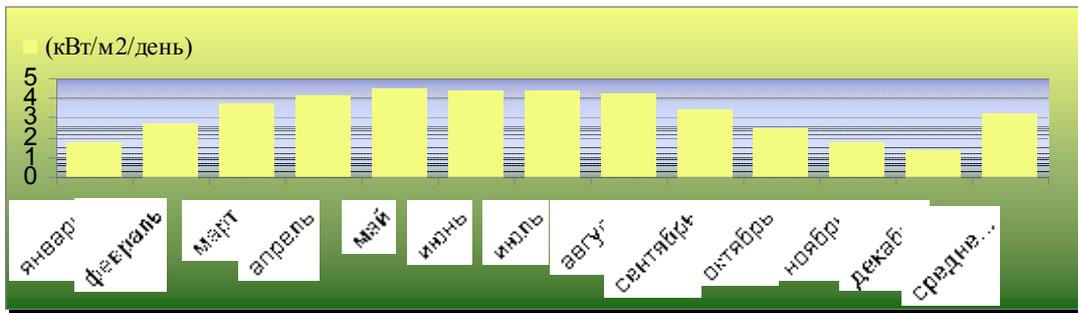
Среднемесячное радиационное излучение на поверхности, наклоненной в сторону экватора на 90 град (кВт/м²/день) [2]



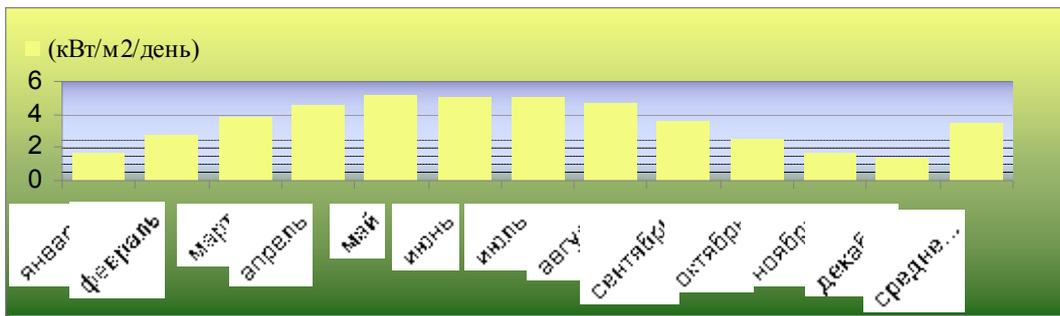
Среднемесячное радиационное излучение на поверхности, наклоненной в сторону экватора на 38 град (кВт/м²/день) [2]



Среднемесячное радиационное излучение на поверхности, наклоненной в сторону экватора на 68 град (кВт/м²/день) [2]



Среднемесячное радиационное излучение на поверхности, наклоненной в сторону экватора на 53 град (кВт/м²/день) [2]



Рассмотрим солнечное излучение в г. Пензе [2].

Солнечные панели наиболее эффективно работают, когда они направлены на солнце и их поверхность перпендикулярна солнечным лучам. Солнечные панели обычно располагаются на крыше или поддерживающей конструкции в фиксированном положении и не могут следить за положением солнца в течение дня. Поэтому обычно солнечные панели не находятся под оптимальным углом (90 град) в течение всего дня. Угол между горизонтальной плоскостью и солнечной панелью обычно называют углом наклона.

Вследствие движения Земли вокруг Солнца, имеют место также сезонные вариации. Зимой солнце не достигает того же угла, как летом. В идеале солнечные панели должны располагаться летом более горизонтально, чем зимой. Поэтому угол наклона для работы летом выбирается меньше, чем для работы зимой. Если нет возможности менять угол наклона дважды в год, то панели должны располагаться под оптимальным углом, значение которого лежит где-то посередине между оптимальными углами для лета и зимы. Для каждой широты есть свой оптимальный угол наклона панелей. Только для местностей около экватора солнечные панели должны располагаться горизонтально.

Обычно для весны и осени оптимальный угол наклона принимается равным значению широты местности. Для зимы к этому значению прибавляется 10–15 град, а летом от этого значения отнимается 10–15 град. Поэтому обычно рекомендуется менять дважды в год угол наклона с «летнего» на «зимний».

Если такой возможности нет, то угол наклона выбирается примерно равным широте местности.

Небольшие отклонения до 5 град от этого оптимума оказывают незначительный эффект на производительность модулей. Различие в погодных условиях более влияет на выработку электричества. Для автономных систем оптимальный угол наклона зависит от месячного графика нагрузки, т.е. если в данном месяце потребляется больше энергии, то угол наклона нужно выбирать оптимальным именно для этого месяца. Также нужно учитывать, какое есть затенение в течение дня. Например, если с восточной стороны у вас дерево, а с западной все чисто, то, скорее всего, имеет смысл сместить ориентацию с точного юга на юго-запад.

Оптимальный угол наклона для широты 53 град (северной широты) для соединенных с сетью систем составляет 38 град. Однако для автономной системы с примерно равной потребностью в энергии в течение года оптимальный угол наклона будет составлять около 65–70 град [2].

В Пензенской области запущено серийное производство солнечных коллекторов. Выпускать их будут на Нижнеломовском электромеханическом заводе. В технологической академии разработали энергоэффективную установку, позволяющую пользоваться горячей водой за счет энергии солнца, на малом предприятии.

Три коллектора за 3 часа способны нагреть до температуры 55 °С 200 л воды. «Этого объема и мощности вполне достаточно – уверяют разработчики, – чтобы обеспечить горячей водой частное домовладение или в зимний период отапливать теплицу». Устройство полностью адаптировано к условиям средней полосы России. Опытный образец, созданный на базе пензенского бизнес-инкубатора, успешно прошел испытания в бессоновской районной больнице.

Представители малого инновационного предприятия «ИНТЭН», созданного учеными Пензенской государственной технологической академии, и руководители ОАО «Нижнеломовский электромеханический завод» договорились о серийном производстве солнечных коллекторов, разработанных в ПГТА.

Солнечный коллектор предназначен для нагрева воды с помощью энергии солнца. Он позволяет владельцам частных хозяйств, дач, предприятий АПК значительно экономить деньги. Правда, сначала установку нужно купить, а ее предварительная стоимость, как сообщили в ПГТА, составит примерно 18–19 тыс. рублей. Первый солнечный коллектор сурского производства планируется произвести уже в конце февраля, а всего в 2012 году их должны выпустить 500 штук. Данный проект был

поддержан правительством Пензенской области, оно выделило «ИНТЭНу» специальный грант на организацию серийного производства.

Коллектор – лишь часть предлагаемой учеными комплексной системы энергосбережения для частных хозяйств. Планируется, что такие системы тоже запустят в производство, причем все необходимые для них комплектующие будут производить на пензенских предприятиях.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что производство установок для получения тепловой энергии от энергии солнца за последние 4 года увеличилось в мире в несколько раз. На сегодняшний день вводится в эксплуатацию более 3 млн установок в год, и эта статистика получена не только за счет стран с теплым климатом. Свою эффективность вакуумные солнечные коллекторы доказали даже в климатических условиях Аляски.

Что сегодня мешает широкому распространению солнечных коллекторов в России?

- Психологический фактор. Подсознательно солнечная энергия не считается постоянно доступной из-за погодных и сезонных условий, хотя технически эта проблема решается очень просто путем использования теплоаккумуляторов.

- Инерционность мышления, в т.ч. специалистов. По привычке ставятся отопительные системы старого образца.

- Первоначальные затраты выше, чем у классических отопительных систем

В ближайшее время произойдет стремительное наполнение этого рынка. Дальнейший рост цен на энергоносители в России заставят использовать новые эффективные системы отопления. Используя солнечные коллекторы, можно уменьшить затраты на получение тепла на 30 % в год.

Список литературы

1. Емельянов, А.В. Солнечная альтернатива / А.В. Емельянов // Экология и жизнь. – 2001. – №6 – С. 22–23.
2. Гертис, К. Энергосбережение – мотивация создания архитектурных и конструкторских решений [перевод] / К. Гертис // Архитектура и строительство. – 2003 – №2. – С. 29–31.
3. Климат Пензы: справочник. – Л., 1988.

References

1. Emelyanov, A.V. The solar alternative / A.V. Emelyanov // Ecology and life. – 2001. – № 6 – P. 22–23.
2. Gertis, K. Energy saving – motivation the creation of architectural and design decisions [translation] / K. Gertis // Architecture and Construction. – 2003 – № 2. – P. 29–31.
3. Three. The climate of Penza. Handbook. – L., 1988.

УДК 628.83

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

Горшков Валентин Иванович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»

Родионов Юрий Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
директор Автомобильно-дорожного
института, почетный работник высшего
профессионального образования

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор, декан
факультета управления территориями,
почетный строитель РФ, почетный работник
высшего профессионального образования
E-mail: zig@pguas.ru

Святкина Анна Александровна,
ассистент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Gorshkov Valentin Ivanovich,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»

Rodionov Juri Vladimirovich,
Doctor of Science, Professor,
Director of the Automobile and Road Institute,
Honored Worker of Higher Professional
Education

Tarakanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Science, Professor, Decan of the
School of Management areas, Honorary
builder of Russia, Honored Worker of High
Professional Education
E-mail: zig@pguas.ru

Svyatkina Anna Aleksandrovna.
Assistant of the department «Heat, gas supply
and ventilation»

РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

В.И. Горшков, Ю.В. Родионов, О.В. Тараканов, А.А. Святкина

Приведены существующие способы регулирования расхода воздуха. Предложено новое техническое решение, обеспечивающее газодинамическое регулирование количества воздуха. Описано устройство тройника с газодинамическим регулятором расхода воздуха.

Ключевые слова: система вентиляции, регулирование расхода воздуха, газодинамическое регулирование.

REGULATION OF AIR FLOW IN VENTILATION SYSTEMS BY GASDYNAMIC METHOD

V.I. Gorshkov, Y.V. Rodionov, O.V. Tarakanov, A.A. Svyatkina

General ways of air flow regulation are listed. A new technical decision providing gasdynamic regulation of air flow is offered. A description of the device for gasdynamic air flow regulation is given.

Keywords: ventilation system, regulation of the expense of air, gasdynamic regulation.

Основная задача регулирования сети приточной механической вентиляции состоит в обеспечении на всех участках требуемых расходов воздуха, предусмотренных проектом. Изменение расхода в ответвлениях связано с регулированием его по количеству, хотя общий объем перемещаемого воздуха в сети при этом практически остается неизменным.

Применение регулирования по объему дает существенный экономический эффект. Во-первых, сокращается пиковая тепловая нагрузка в холодный и переходный периоды года, во-вторых, создаются нормативные параметры воздуха в помещениях.

Однако регулирование по объему влечет за собой изменение аэродинамической характеристики сети, т. е. увеличение или уменьшение суммарного сопротивления при прикрытии или открывании запорно-регулирующих устройств, к которым относятся заслонки воздушные унифицированные, дроссель-клапаны, воздухораспределители различных типов [1], шиберы, многостворчатые клапаны [2] и др. Кроме того, производительность сети может регулироваться направляющим аппаратом и изменением числа оборотов вентилятора с помощью гидромуфт или электромуфт скольжения.

Одним из недостатков регулирования вентиляционной сети с помощью существующих механических устройств является то, что при разрегулировке необходимо производить наладку устройств регулирования количества воздуха вручную или автоматически. В первом случае происходит увеличение инерционности вентиляционной системы, возникает необходимость участия квалифицированных специалистов и соответствующего инструментального обеспечения. Во втором случае подразумевается установка элементов автоматики и устройства обеспечения работы автоматики, что связано с дополнительными капитальными затратами.

Ниже авторами предлагается новое техническое решение, обеспечивающее газодинамическое регулирование расхода воздуха в системах вентиляции и кондиционирования.

Предлагаемый способ регулирования воздушного потока в вентиляционной системе позволяет создать за счет аэродинамических крутящих моментов в тройнике оригинальной конструкции саморегулирование расхода воздуха в магистрали и ответвлениях. При этом исключается необходимость установки устройств автоматики, необходимость настройки механизмов регулирования расхода воздуха вручную с привлечением специалистов и, следовательно, уменьшается инерционность, уменьшаются финансовые и материальные затраты.

Применение данного способа позволяет автоматически в процессе эксплуатации вентиляционной сети регулировать количество подаваемого воздуха в помещения и поддерживать его на заданном уровне.

Перед каждым воздухораспределителем или в самом воздухораспределителе в обслуживаемых помещениях, как правило, устанавливаются устройства для регулирования расхода воздуха. Как отмечалось ранее, такие устройства могут работать с применением средств автоматики или вручную.

Принципиальная схема подачи воздуха в помещения приведена на рис. 1.

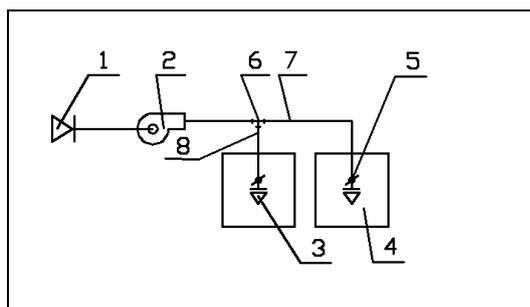


Рис. 1. Принципиальная схема подачи свежего воздуха в помещения:

- 1 – устройство для забора наружного воздуха;
- 2 – вентилятор; 3 – воздухораспределитель;
- 4 – обслуживаемое помещение; 5 – устройство регулирования расхода подаваемого воздуха;
- 6 – тройник; 7 – магистральная ветвь;
- 8 – ответвление

Очевидно, что изменение расхода воздуха в одном помещении с помощью устройства 5 (см. рис. 1) приведет к изменению расхода в другом помещении, что вызовет увеличение скорости выхода воздуха из воздухораспределителей и возникновение эффекта «дутья» в рабочей зоне, обслуживаемой воздухораспределителем 3.

Избежать этого позволяет либо регулировка воздухораспределителей 3, либо установка на ответвлениях саморегулируемого тройника вместо обычного (поз. 6 на рис. 1).

Распределение потоков в обычном тройнике (рис. 2) при регулировании сети заключается в следующем: изменение расхода воздуха в сечении II–II приводит к изменению расхода воздуха в сечении III–III. Так как сечение III–III постоянно, то, согласно закону сохранения массы, при увеличении расхода воздуха в сечении III–III местная скорость потока возрастает, и наоборот, при уменьшении расхода скорость потока уменьшается.

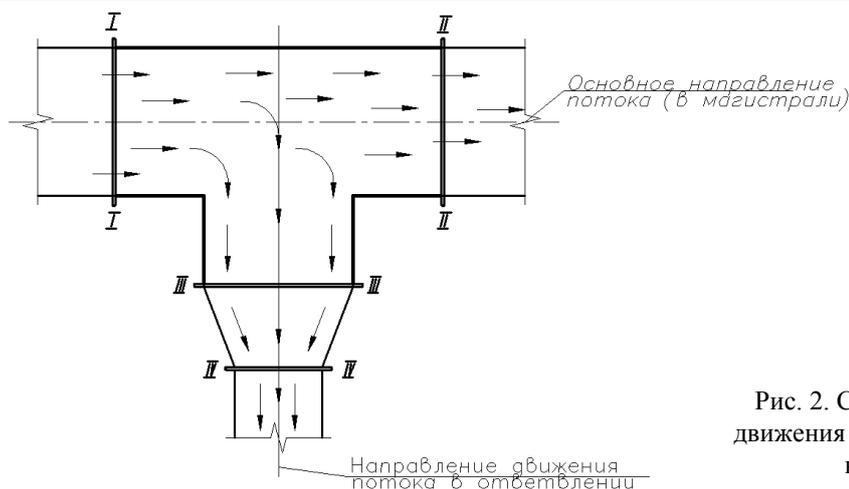
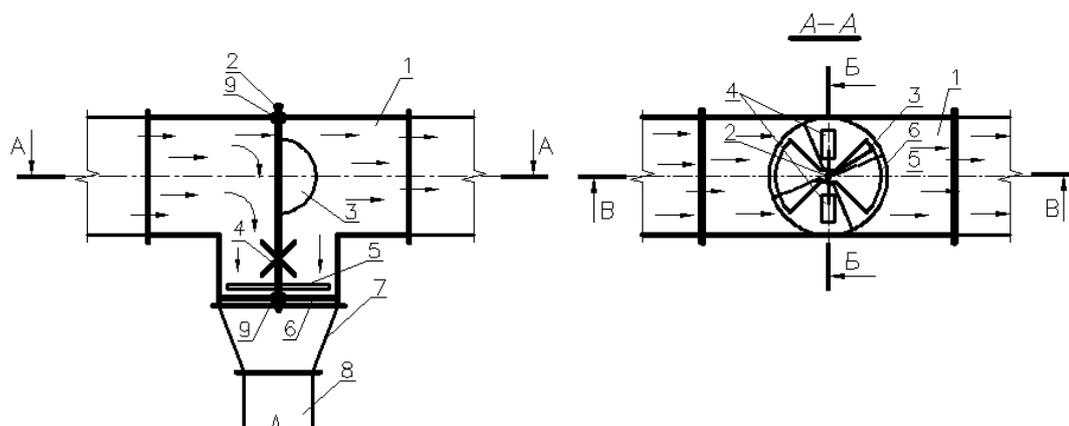


Рис. 2. Схема направления движения воздушных потоков в тройнике

Конструкция предлагаемого газодинамического устройства изложена в патенте РФ на полезную модель № 112357. В данной модели в стандартный тройник круглого сечения установлено дополнительное устройство (рис. 3), состоящее из оси 2, жестко соединенной с ней пластины 3 и крыльчатки 4, осесимметричного поворотного сектора 5. В совокупности аэродинамические силы, действующие на пластину 3 и крыльчатку 4, создают результирующий крутящий момент на оси 2, смещающий осесимметричный поворотный сектор 5 относительно неподвижного сектора 6, и изменяют эффективную площадь живого сечения канала ответвления тройника.

а



б

в

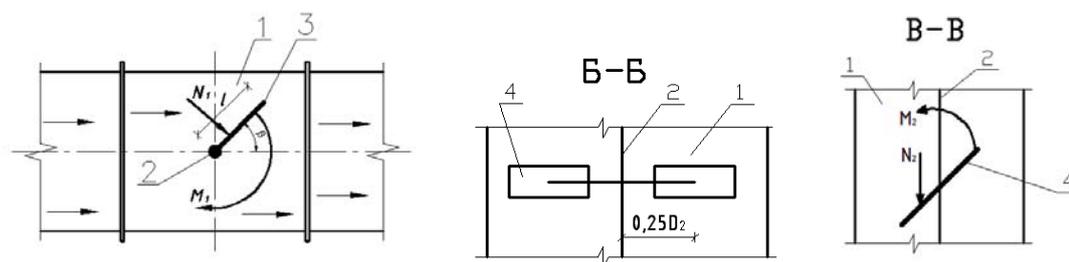


Рис. 3. Принципиальная схема газодинамического регулятора расхода воздуха (а) и схемы действующих сил и моментов (б, в)

В зависимости от величины и направления результирующего аэродинамического момента, изменяющего степень перекрытия «живого» сечения воздуховода в ответвлении магистрали, происходит уменьшение или увеличение расхода воздуха в ответвлении, т.е. саморегулирование. Следует иметь в виду, что расход воздуха в ответвле-

нии всегда меньше, чем в магистрали. Поэтому после тройника на ответвлении сечение воздуховода принимается меньше сечения тройника.

Рассматриваемый принцип саморегулирования воздушного потока газодинамическим способом описывается следующей математической моделью.

Согласно схеме движения воздуха (см. рис. 3) на пластину 3 в прямооточной части тройника будет действовать газодинамическая сила.

Газодинамическая сила определяется по зависимости

$$N_1 = F_{\text{пл}}^M \cdot \varphi_1 \cdot \frac{\rho \cdot v_1^2}{2}, \quad (1)$$

где $F_{\text{пл}}^M$ – миделево сечение пластины; φ_1 – аэродинамический коэффициент формы пластины; ρ – плотность воздуха; v_1 – скорость движения воздушного потока в сечении данной пластины.

Миделево сечение пластины 3 при нахождении её в движущемся потоке воздуха в рассматриваемой схеме зависит от угла поворота пластины β (см. рис. 3). При увеличении угла β увеличивается $F_{\text{пл}}^M$ и соответственно увеличивается сила N_1 .

Пластина 3, помещенная в поток воздуха, под действием силы N_1 будет стремиться повернуться в сторону движения потока. Результирующая сила N_1 создает крутящий момент:

$$M_1 = 0,17 \cdot \varphi_1 \cdot F_{\text{пл}}^M \cdot l \cdot \rho \cdot v_1^2, \quad (2)$$

где l – ширина пластины.

Момент M_1 передается на ось 2, жестко соединенную с пластиной 3 (см. рис. 3). Поворот сектора 5 относительно неподвижного сектора 6 частично перекрывает сечение для прохода потока воздуха в ответвление 8.

Аэродинамическая сила N_2 (см. рис. 3) действует на крыльчатку 4 и за счет того, что её пластины установлены под углом и развернуты в сторону, обеспечивает создание крутящего момента M_2 . Сила N_2 определяется следующей зависимостью:

$$N_2 = F_{\text{кр}}^M \cdot \varphi_2 \cdot \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}, \quad (3)$$

где $F_{\text{кр}}^M$ – миделево сечение пластины крыльчатки; φ_2 – аэродинамический коэффициент формы пластины крыльчатки; v_2 – скорость движения воздушного потока в сечении крыльчатки.

Момент M_2 (см. рис. 3) равен произведению силы N_2 на плечо $0,25D_2$, где D_2 – диаметр воздуховода в сечении осесимметричного неподвижного сектора (см. рис. 3):

$$M_2 = 0,125 \cdot \varphi_2 \cdot F_{\text{кр}}^M \cdot D_2 \cdot \rho \cdot v_2^2. \quad (4)$$

Совокупность моментов M_1 и M_2 дает результирующий момент, определяющий угол поворота оси 2 и закрепленного на оси сектора 5. В зависимости от угла поворота сектора 5 изменяется площадь сечения для прохода воздуха в ответвлении и, соответственно, расход воздуха. Таким образом, изменение расхода воздуха в магистральном направлении воздухопроводов приводит к изменению скорости движения воздуха в тройнике и изменению величин моментов M_1 и M_2 . В зависимости от величины и направления результирующего момента изменяется степень перекрытия «живого» сечения в ответвлении тройника, тем самым автоматически обеспечивается заданный расход воздуха в ответвлении сети.

При использовании газодинамического способа саморегулирования воздушного потока в вентиляционной системе за счет отсечения определенного количества воздуха в автоматическом регуляторе происходит и уменьшение оттока теплоты, содержащейся в отсекаемом воздухе. Излишнее количество тепла может быть использовано для рециркуляции, рекуперации или иных целей. Таким образом, происходит эконо-

мия затрат на подогрев воздуха. Кроме того, за счет саморегулирования обеспечивается постоянство расхода воздуха в ответвлении.

Степень перекрытия «живого» сечения в ответвлении составляет:

$$n = 1 - \left(\frac{D_3^3}{D_2^3} \right)^2,$$

где D_2^3 – эквивалентный диаметр воздухопровода в ответвлении тройника, соответствующий площади свободного прохода воздуха в сечении неподвижного сектора 6 при отсутствии смещения сектора 5; D_3^3 – эквивалентный диаметр воздухопровода в ответвлении тройника, соответствующий площади свободного прохода воздуха в сечении неподвижного сектора при повороте подвижного сектора 5 на максимальный угол.

Диапазон перекрытия проходного сечения зависит от конструктивных характеристик поворотного и неподвижного секторов и может изменяться в пределах $0 \leq n \leq 1$. Так, можно оценить процентное содержание тепла, которое будет сэкономлено, если произойдет частичное или полное перекрытие канала ответвления тройника, а излишнее количество воздуха пойдет на рециркуляцию без дополнительного подогрева.

В зависимости от степени перекрытия «живого» сечения n диапазон сэкономленной теплоты от одного ответвления будет находиться в пределах от $(1-n)100\%$. Очевидно, что экономия, %, расходуемого тепла за счет одного ответвления зависит от его конструктивных характеристик, в частности от D_2^3 и D_3^3 .

В процессе исследований регулирования расхода воздуха в системах вентиляции газодинамическим способом был изготовлен опытный образец тройника с встроенным газодинамическим регулятором. Проведены натурные испытания образца, которые подтвердили эффективность регулирования по расходу.

Данная разработка решением Международного жюри XIV Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед – 2011» удостоена Диплома и серебряной медали, награждена грамотой Центрального совета Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов, получила Диплом и медаль 12-й специализированной выставки «Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК».

Список литературы

1. Отопление и вентиляция. Ч. II // под ред. В.Н.Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.
2. Юрманов, Б.Н. Автоматизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / Б.Н. Юрманов. – Л.: Стройиздат, 1976. – 216 с.
3. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: справочное пособие. – М.: Пантори, 2003. – 308 с.
4. Саморегулируемая механическая вентиляционная сеть. Пат. РФ на полезную модель № 112357.

References

1. Heating and ventilation. P. II // under the editorship of V.N.Bogoslovskogo. – M: Stroyizdat, 1976. – P. 439.
2. Jurmanov, B.N. Automation of heating, ventilation and air conditioning systems / B.N. Jurmanov. – L.: Stroyizdat, 1976. – P. 216.
3. Heating, ventilation and air conditioning: Residential buildings with the vstroenno-attached premises of public appointment and parking of cars. Cottages: the Handbook. – M: Pantory, 2003. – P.308.
4. The Self-regulated mechanical ventilating network. The pat. of the Russian Federation for useful model № 112357.

УДК 697.1-049.35:725

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»
Тел.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Кузьмишкин Алексей Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
Тел.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Васин Михаил Евгеньевич,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
Тел.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры «Информационно-
вычислительные технологии»
Тел.: +7 (412) 42-05-03; 53-42-45;
+7 (412) 52-05-60

*Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева*

Россия, г. Саранск,
п. Ялга, ул. Российская, 8

Левцев Алексей Павлович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Теплоэнергетические системы»

*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 Econom sciences, Professor of
the department «Heating, gas supply and
ventilation» Tel.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Kuzimishkin Alekey Aleksandrovich,
Candidate of Science, Associate Professor
of the department «Heating, Gas supply and
ventilation»
Tel.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Vasin Mihail Evgenievich,
Postgraduate of the department «Heating, Gas
supply and ventilation»
Tel.: 8(412) 92-94-10
E-mail: tgv@pguas.ru

Ezhov Evgeniy Grigorievich,
Doctor of Physico-Mathematical Sciences,
Associate Professor of the department
«Information and computer technologies»
Tel.: +7 (412) 42-05-03; 53-42-45;
+7 (412) 52-05-60

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

Russia, Saransk, p. Yalga, 8, Rossiiskaya St.

Levtsev Alexey Pavlovich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Heat and power systems»

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Т.И. Королева., А.А. Кузьмишкин, М.Е. Васин, Е.Г. Ежов, А.П. Левцев

Показано, что удельная энергоёмкость систем отопления в общественных зданиях снижается путем использования автоматически управляемых режимов снижения тепловой мощности отопления в нерабочее время. В большинстве таких зданий (институты, школы, детские сады, административные здания и др.) в ночное время и в выходные дни отопление продолжает работать так же, как и в рабочее время. Во многих странах Европы мощность отопительных систем в нерабочее время уменьшается по заранее заданной программе. Такое прерывистое отопление целесообразно более активно использовать и в России.

Ключевые слова: энергосбережение, прерывистое отопление, тепловая мощность, коэффициент натопа, теплопотери помещения.

HOW TO SAVE ENERGY IN THE HEATING SYSTEMS OF PUBLIC HOUSES

T.I. Koroleva, A.A. Kuzmishkin, M.E. Vasin, E.G. Ezhov, A.P. Levtshev

Specific energy capacity of heating systems in public buildings is reduced due to the use of automatically controlled modes which cut the thermal heating capacity during off-hours. In most of these buildings (institutes, schools, kindergartens, office buildings, etc.) heating systems continue to work at night and on weekends as well as during working hours. In many European countries power heating systems in non-working time is reduced by a given program. Such interrupted heating systems are necessary to use in Russia.

Keywords: energy saving, interrupted heating, heat capacity, coefficient heat, temperature in the room.

Технологии XXI века. Ещё несколько лет назад эти слова звучали в фантастических романах, и вот очередной год наступил, и вместе с ним наступила эра новых технологий...

Никого не удивляют новые модификации мобильных телефонов и компьютеров, полёты международной космической станции, прогресс в автомобилестроении и авиации.

Удивление вызывает то, что при этом мы продолжаем топить дома углем и газом, строить стены из кусков обожженной глины и греть воду, сжигая нефть в котельных. Несмотря на то, что Россия ещё не испытывает в целом дефицит ископаемых видов топлива, это не может и не должно быть основанием расточительного к ним отношения.

Несмотря на резкое повышение цен на энергоносители, удельная теплоемкость выпускаемой в нашей стране продукции продолжает возрастать. Она в 2–2,5 раза больше, чем в странах Западной Европы и США. Этот значительный потенциал сбережения тепловой и энергетической энергии оценивается в 500 млн т условного топлива. Реализовать его можно только при использовании всех способов энергосбережения [1].

Удельную энергоемкость систем отопления в общественных зданиях можно существенно снизить путем использования автоматически управляемых режимов снижения тепловой мощности отопления в нерабочее время. В большинстве таких зданий (институты, школы, детские сады, административные здания и др.) в ночное время и в выходные дни отопление продолжает работать так же, как и в рабочее время. Во многих странах Европы мощность отопительных систем в нерабочее время уменьшается по заранее заданной программе. Такое прерывистое отопление целесообразно более активно использовать в России.

Для большинства современных зданий (административных зданий, школ, жилых зданий, театров, кинотеатров, ряда производственных зданий и т.д.) допускается понижение температуры внутреннего воздуха ниже нормативного значения в течение части суток и в выходные и праздничные дни с целью экономии энергии, затрачиваемой на их теплоснабжение. Такой режим отопления, когда температура внутреннего воздуха понижается на некоторый период времени ниже нормативного значения, называется «прерывистым». Подобная ситуация также может иметь место при авариях, когда прекращается подача тепла в помещение.

Необходимо установить такой оптимальный режим «прерывистого» отопления, при котором расход теплоты был бы минимальным. В книге «Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий» (М.: АВОК – ПРЕСС, 2002, Гл. 5) показано, что максимальная экономия энергии достигается при минимизации времени «натопа».

Минимизация времени «натопа» достигается при выполнении двух основных условий:

- подача теплоты в помещение с использованием всей имеющейся в резерве установочной мощности источника;
- «правильная» организация схемы системы отопления в период «натопа», при которой обеспечивается минимизация расхода энергии.

Если первое условие не нуждается в комментариях, то реализация второго условия потребует определенной изобретательности от проектировщика.

При использовании водяных или тем более воздушных систем отопления температура внутреннего воздуха достаточно быстро достигает нормативного значения, а нагрев внутренних поверхностей до нормативной температуры потребует значительно большего количества времени. Следовательно, для минимизации времени «натопы» необходимо обеспечить, прежде всего, и как можно быстрее, нагрев наиболее теплоемких составляющих в уравнении теплового баланса. В данном случае тепловыми являются ограждающие конструкции и мебель.

«Правильная» организация системы отопления в период «натопы» – это такая организация, при которой в первую очередь обеспечивается разогрев до нормативных значений наиболее теплоемких элементов помещения [2]. Очевидно, что система водяного отопления не обеспечит достижения поставленной задачи – быстрого разогрева наиболее теплоемких элементов помещения. Можно предположить, что «правильная» организация систем отопления – это использование комбинаций различных систем отопления, например, воздушного отопления или лучисто-конвективного подогрева поверхностей внутренних ограждающих конструкций или воздушного отопления настилающимися струями на внутренние поверхности ограждающих конструкций и т.п.

В зданиях и сооружениях с переменным тепловым режимом прибегают к понижению температуры помещений в нерабочие периоды суток. Для этого применяют прерывистое отопление с понижением или полным отключением теплопередачи.

В помещениях общественных зданий можно также допустить в нерабочий период суток понижение температуры, но до такого уровня, чтобы избежать конденсации водяного пара воздуха на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций (за исключением световых проемов).

Будем считать, что к концу рабочего дня относительная влажность воздуха в помещении при температуре 20 °С составляет 40 % (в соответствии с требованиями СНиП).

Исходя из этого, найдем, что понижение температуры помещений в нерабочий период времени возможно до 8...10 °С.

Для переменного теплового режима рабочих помещений характерна суточная периодичность. В течение суток выделим рабочий период, когда внутренние теплопоступления (например, от людей) в той или иной мере возмещают теплопотери и требуется главным образом вентиляция помещений (в помещениях преобладает режим вентилирования). Нерабочий период разделим на период естественного охлаждения помещений, когда отопление отключено и отсутствуют какие-либо теплопоступления (режим охлаждения), и период усиленного нагревания помещения перед началом работы (режим нагревания или, как говорят, «натопы»). Продолжительность этих периодов различна. Если режим вентилирования длится 8 часов, то продолжительность режима натопы зависит от температуры наружного воздуха и от тепловой мощности системы отопления. Соответственно увеличивается или уменьшается продолжительность периода охлаждения.

Устанавливается также недельная периодичность теплового режима, связанная с выходными днями.

При прерывистом отоплении минимальная температура помещения, которая устанавливается к концу периода отключения отопления, зависит от теплоустойчивости, а также от теплозащитных свойств наружных ограждений этого помещения.

По мере возрастания этих показателей повышается и минимальная температура воздуха, то есть замедляется охлаждение помещений. Можно также установить, что для обеспечения в режиме охлаждения минимальной температуры 8...10 °С следует стремиться к повышению теплоустойчивости и теплозащитных свойств ограждений помещений.

С другой стороны, при повышении теплоустойчивости помещений экономия теплоты в условиях прерывистого отопления будет сокращаться. Это объясняется сохранением в режиме охлаждения повышенного уровня теплопотерь через ограждения вследствие более высокой температуры помещений. Кроме того, при повышении теплоустойчивости придется прибегать к более продолжительному нагреванию

помещений перед началом работы с соответствующим сокращением продолжительности периода охлаждения. Расчеты показывают, что при прерывистом отоплении помещений повышенной теплоустойчивости теплотраты возрастут на 4...5 % по сравнению с затратами на отопление помещений пониженной теплоустойчивости.

Экономия теплоты, получаемая при переменном тепловом режиме, зависит не только от теплозащитных свойств ограждающих конструкций помещений, но и от тепловой мощности системы отопления. Применение переменного теплового режима при повышенных теплозащитных свойствах ограждений обеспечит дополнительную экономию теплоты вследствие сокращения продолжительности «натопов» и даже устранения промежуточных «натопов» в условиях длительного охлаждения помещений в выходные и праздничные дни. Продолжительность периода охлаждения может быть в этих случаях увеличена вследствие относительного повышения минимальной температуры воздуха в помещении.

Повышение тепловой мощности системы прерывистого отопления (по сравнению с мощностью постоянно действующей системы) при прочих равных условиях позволяет в еще большей мере экономить теплоту. Расчеты для крупного административного здания в климатических условиях Москвы показывают, что при увеличении тепловой мощности системы отопления (коэффициента натопа) от 1,3 до 1,7 раза сокращается продолжительность натопа и экономия теплоты в год повышается соответственно с 15,4 до 19 %.

Дополнительные затраты на увеличение тепловой мощности системы прерывистого отопления окупаются за счет уменьшения эксплуатационных расходов достаточно быстро, особенно при повышенной стоимости тепловой энергии и продолжительном отопительном сезоне.

Коэффициент натопа целесообразно увеличивать до 2...2,2 и выше, ограничивая его величину располагаемой мощностью теплового ввода в здание, рассчитанной на покрытие теплотрат как на отопление, так и на вентиляцию в рабочее время. При этом мощность теплоисточника останется без изменения. Изменится лишь суточный график отпуска теплоты с общей экономией её в течение отопительного сезона. Общая экономия теплоты в течение отопительного сезона при прерывистом отоплении различных зданий составляет 20...30 % по сравнению с теплотратами на постоянное отопление [1].

Авторами предложен расчет системы прерывистого отопления зала заседаний на 250 мест в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства.

Удельные теплотери в помещении зала заседаний через наружные ограждения, Вт/°С, составят:

$$K_n = 285,02 \text{ Вт/°С}, K_b = 170,32 \text{ Вт/°С}, L = 2618,4 \text{ Вт/°С}, t_b = 20 \text{ °С}, t_{cm} = 16 \text{ °С},$$

где K_n – удельные теплотери помещения через наружные ограждения, Вт/°С; K_b – удельные теплотери помещения через внутренние ограждения, Вт/°С; t_b – температура внутреннего воздуха в помещении, °С; t_{cm} – температура воздуха в сменных помещениях, °С; L – показатель конвективного теплообмена в помещении, Вт/°С.

Мощность системы в режиме натопа определяем исходя из работы системы на рециркуляцию с температурой притока $t_{пр} = 45 \text{ °С}$. Воздухообмен в зале составляет $L = 12600 \text{ м}^3/\text{ч}$. Выделение явной теплоты при полном заполнении равно $Q_{л} = 19031,25 \text{ Вт}$.

Определяем, возможно ли прерывистое отопление в зале при $t_n = 29 \text{ °С}$, приняв в качестве минимально допустимой 8 °С , с помощью формулы

$$t_b^{\min} = t_b \left(0,98 - 1,9 \frac{K}{L} \right) + \frac{K_n t_n + K_b t_{cm}}{K} \left(0,02 + 1,9 \frac{K}{L} \right) + \frac{Q_{л}}{K} \left(0,01 + 0,26 \frac{K}{L} \right) = 10,04 \text{ °С}$$

$$10,04 \text{ °С} > 8 \text{ °С}.$$

Следовательно, использование прерывистого отопления в зрительном зале возможно.

Определим требуемую тепловую мощность системы в рабочее время, предварительно рассчитав коэффициенты η_1, η_2, η_3 [1].

$$\eta_1 = \frac{1}{0,5 + 0,85 \frac{K}{Л}}; = \frac{1}{0,5 + 0,85 \frac{455,34}{2618,4}} = 1,54;$$

$$\eta_2 = \frac{\left(0,02 \frac{K}{Л} - 0,04\right) \Delta Z_{\text{н}} - 0,02 \frac{K}{Л}}{0,5 + 0,85 \frac{K}{Л}} = -0,060;$$

$$\eta_3 = \frac{-0,37 - 0,34 \frac{K}{Л}}{0,5 + 0,85 \frac{K}{Л}} = -0,660.$$

Определим тепловую мощность системы, работающей на полную рециркуляцию в режиме натопа, Вт:

$$Q_{\text{н}} = \frac{0,33L(t_{\text{нр}} - t_{\text{в}}^{\text{min}})}{1 + 0,33 \frac{L}{Л}} = 5616,85 \text{ Вт.}$$

и тепловую мощность системы отопления в рабочее время, Вт:

$$Q_{\text{со}} = [K_{\text{н}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) - K_{\text{в}}(t_{\text{см}} - t_{\text{в}})] \cdot \eta_1 + Q_{\text{н}\eta_2} + Q_{\text{л}}\eta_3 = 6626 \text{ Вт.}$$

Приведенные вычисления позволяют сделать вывод о том, что использование прерывистого отопления при $t_{\text{в}} = -29$ °С возможно для зданий административного и общественного назначения в Пензенской области.

При подготовке статьи были использованы материалы, полученные в результате выполнения НИР в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Госконтракт с Министерством образования и науки РФ от 01 сентября 2010 г. № 16.740.11.0069).

Список литературы

1. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: справ. пособие / под ред. Л.Д. Богуславского и В.Н. Ливчака. – М.: Стройиздат, 1990.
2. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: Изд-во «АВОК», 2002.
3. Королева, Т.И. Экономическое обоснование оптимизации теплового режима здания: учеб. пособие / Т.И. Королева. – М.: АСВ, 2001.
4. Самарин, О.Д. Теплофизические и технико-экономические основы теплотехнической безопасности и энергосбережения в здании / О.Д. Самарин. – М.: МГСУ, 2007.

References

1. Energy conservation in heating, ventilation and air conditioning. A Reference Guide / Ed. L.D. Boguslavsky and V.N. Livchak. – M.: Stroizdat, 1990.
2. Tabunshikov Yu.A. Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings / Yu.A. Tabunshikov, M.M. Borodah. – M.: Izd «AVOK», 2002.
3. Koroleva, T.I. Economic substantiation of optimization of the thermal mode of the building: Training manual / T.I. Koroleva. – M.: Publishing house of the deposit insurance AGENCY, 2001.
4. Samarin, O.D. Thermophysical and techno-economic basis of heat engineering and energy security in the building / O.D. Samarin.. – M.: MSSU, 2007.

УДК 628.3.033:628.54

*Самарский государственный технический университет*Россия, 443100, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, 244,
факс: (846) 278-44-00**Чертес Константин Львович,**доктор технических наук, профессор
кафедры «Химическая технология
и промышленная экология»**Сафонова Наталья Александровна,**аспирант кафедры «Химическая технология
и промышленная экология»**Пыстин Виталий Николаевич**студент кафедры «Химическая технология
и промышленная экология»**Малиновский Александр Станиславович,**доктор технических наук, профессор
кафедры «Химическая технология
и промышленная экология»*Самарский государственный архитектурно-
строительный университет*Россия, 443001, Самара,
ул. Молодогвардейская, 194
тел.: (846) 242-17-84; факс: (846) 332-19-65**Зеленцов Данила Владимирович,**доцент кафедры «Водоснабжение и
водоотведение»*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**Бикунова Марина Викторовна,**кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

Тел.: 95-92-08

*Samara State Technical University*Russia, 443100, Samara,
244, Molodogvardeiskay St.,
fax: (846) 278-44-00**Chertes Konstantin Lvovich,**Doctor of Science,
Professor of the department «Chemical
technology and industrial ecology»**Safonova Natalya Aleksandrovna,**
Postgraduate of the department «Chemical
technology and industrial ecology»**Pystin Vitaliy Nikolaevich,**Student of the department «Chemical
technology and industrial ecology»**Malinovsky Aleksander Stanislavovich,**Doctor of Science, Professor of the
department «Chemical technology and
industrial ecology»*Samara State Architecture and Construction
University*Russia, 443001, Samara,
194, Molodogvardeiskay St.,
tel.: (846) 242-17-84; fax: (846) 332-19-65**Zelentsov Danila Vladimirovich,**Associate Professor of the department «Water
supply and sewerage» Samara*Penza State University of Architecture
and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Bikunova Marina Viktorovna,**Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»

Tel.: 95-92-08

ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЯНОГО КОМПЛЕКСА

К.Л. Чертес, Д.В. Зеленцов, Н.А. Сафонова, В.Н. Пыстин, М.В. Бикунова,
А.С. Малиновский

Приведены результаты экспериментальных исследований обезвоживания и компостирования осадков нефтесодержащих сточных вод. Даны практические рекомендации по режимам обезвоживания осадков в геоконтейнерах с целью утилизации и использования в качестве рекультивационных материалов.

Ключевые слова: нефтесодержащие осадки, обезвоживание, геоконтейнеры, компостирование, рекультивация.

TREATMENT OF WASTE WATER SEDIMENTS FROM OIL INDUSTRY COMPLEX

K.L. Chertes, D.V. Zelentsov, N.A. Safonova, V.N. Pystin, M.V. Bikunova,
A.S. Malinovsky

The research results of oil contained waste water sediments dewatering and composting are shown. Some practical recommendation on sediments dewatering regimes in geocontainers are given. The aim is the following sediments recycling in the form of soil reconstruction materials.

Keywords: oil contained sediments, dewatering, geocontainers, composting, soil reconstruction.

Производственные процессы, протекающие на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), сопровождаются образованием больших объемов осадков нефтесодержащих сточных вод (ОНСВ). Осадки, образующиеся в процессе эксплуатации систем водного хозяйства практически всех структурных подразделений НПЗ, отличаются широким разнообразием состава, механических и физико-химических характеристик. Источниками образования осадков являются:

- сбросы нефтесодержащих сточных вод технологических установок, в том числе при проведении ремонтных работ и чистки оборудования;
- сбросы из систем оборотного водоснабжения, в том числе при нарушении герметичности теплообменной аппаратуры;
- дренирование осаждаемой смеси воды и шламов из товарных и промежуточных резервуаров;
- зачистка резервуаров хранения нефти и нефтепродуктов перед ремонтом;
- отвод шламов из сооружений механической очистки;
- отвод пены с установок напорной флотации;
- очистка канализационных коллекторов;
- рекультивация загрязненных нефтепродуктами территорий.

В настоящее время большая часть ОНСВ сосредотачивается в накопителях, что отрицательно влияет на компоненты геосреды. Существующие методы обработки ОНСВ направлены на их обезвреживание, сепарацию нефтепродуктов и последующую утилизацию в качестве рекультивационных материалов.

Перспективным методом обработки ОНСВ выступает их биотермическое компостирование в контролируемых условиях. Для интенсификации компостирования используются различные природные и создаваемые человеком добавки: гипс, доломитовая мука, агропромышленные отходы, отходы деревообработки, избыточный активный ил и другие нефтеразрушающие микробиальные добавки [1–3]. Перечисленные материалы являются дорогостоящими и не всегда пригодны для контролируемой биотермической обработки ОНСВ.

Так, компостирование осадков НПЗ Среднего Поволжья затруднено наличием в составе исходной нефти высоких содержаний токсичных для микрофлоры сернистых соединений (более 4 % масс.), а также кислой реакции среды (рН менее 6), ингибирующей термогенез.

ОНСВ представляют собой смеси устойчивых эмульсий нефтепродуктов в воде и примесей минеральной природы. В качестве примера в табл. 1 представлены отдельные показатели состава ОНСВ одного из нефтеперерабатывающих заводов Самарской области.

Т а б л и ц а 1

Отдельные показатели состава ОНСВ

Источники образования Показатели	Осадки радиальных нефтеловушек	Осадки радиальных отстойников-усреднителей	Пеношлам флотаторов	Донный осадок разделочных резервуаров	Осадки первичных отстойников сооружений БХО	Шламовые осадки нефтяных и продуктовых резервуаров
Минеральная часть (мехпримеси), %	12,5-15,7	14,5-15,5	13,8-16,2	14,6-15,8	10,2-11,4	15,2-16,3
Вода, %	36,3-43,5	43,9-48,5	67,6-71,1	48,1-55,4	65,2-67,7	35,5-39,7
Нефтепродукты, %	44,5-48	37-40,6	15,1-16,2	30,1-32,3	22,1-23,6	45,1-48,2
Реакция среды, рН	5,1-5,6	5,2-5,5	6,0-6,1	5,5-5,7	5,9-6,5	4,9-6,1
Сернистые соединения (по элементарной S), %	2,3-5,3	1,5-2,3	0,35-0,45	3,3-6,7	0,52-0,61	3,5-7,8

Пониженные значения pH (менее 6) и наличие токсичных сернистых соединений приводят к эффекту биоингибирования и сдерживают развитие нефтеразрушающей микрофлоры на стадиях быстрого роста температуры и высоких температур [4, 5].

Известно, что для осуществления биотермического компостирования нефтесодержащих осадков в условиях неблагоприятной среды, наряду с распространенными поликультурами (агропромышленные отходы, активный ил и др.), используют инокуляторы или специфические формы микроорганизмов, адаптированные к присутствию токсикантов. К ним относят тионовые бактерии и серобактерии следующих групп: *Thiobacillus*, *Thiothrix*, *Beggiatoa*, *Desulfovibrio* [4–6].

Одним из носителей тионовых бактерий выступают шламы оборотного водоснабжения (ШОВ). Они являются одним из крупнотоннажных отходов нефтеперерабатывающих предприятий и в настоящее время не находят применения.

Использование совместно с избыточным активным илом шламов оборотного водоснабжения в качестве стартового инокулятора биотермической обработки позволяет уменьшить продолжительность процесса компостирования осадков в 1,4–1,6 раза за счет симбиотического эффекта двух видов нефтеразрушающих поликультур.

На рис. 1 представлены температурно-временные характеристики и кривые распада нефтепродуктов процесса обработки ОНСВ в присутствии только активного ила (базовый вариант) и его смеси с ШОВ.

На рис. 2 представлены технологический план и общий вид комплекса биотермической обработки осадков нефтесодержащих сточных вод, на основе которого проводилось экспериментальное исследование контролируемого биотермического компостирования ОНСВ. Конструктивное оформление данного комплекса было запатентовано и внедрено при участии авторов настоящей работы [3, 7–9].

Наряду с ОНСВ в водном хозяйстве нефтяного комплекса также образуются крупнотоннажные осадки в процессе водоподготовки (ОВП) и высококонцентрированные осадки буровых сточных вод (ОБСВ). Авторами предлагается их утилизация и использование в качестве раскисляющих и скелетообразующих добавок при производстве из ОНСВ грунтоподобных рекультивационных материалов.

В табл. 2 представлен компонентный состав ОБСВ (Семеновское месторождение ОАО «Самаранефтегаз») и ОВП (ОАО «Куйбышевский НПЗ»).

Т а б л и ц а 2

Компонентный состав ОБСВ и ОВП

Компоненты отхода	Содержание веществ, % масс.	
	ОБСВ	ОВП
Влажность	86,0-88,0	97,5-99,2
Мехпримеси	10,5-13,5	0,7-1,0
Кальция карбонат (CaCO ₃)	0,22-0,29	0,25-0,28
Кальция сульфат	0,12-0,15	-
Кальция гидроксид	-	0,13-0,15
Магния карбонат	0,18-0,21	-
Магния гидроксид	-	0,19-0,22
Железа оксид (II+III)	0,01-0,03	-
Железа гидроксид (III)	-	0,11-0,13
Натрия карбонат	0,11-0,14	-
Алюминия гидроксид	-	0,14-0,25
Нефтепродукты	0,08-0,6	0,01-0,04

Как видно из табл. 2, и ОВП, и ОБСВ имеют высокие значения влажности – 86–99 %. При этом часть влаги находится в свободном состоянии (до 70 %), а часть (до 30 %) в виде механически и химически связанной воды.

В связи с этим для уменьшения объема перед утилизацией осадков требуется их двухступенчатое обезвоживание:

1 ступень – гравитационное уплотнение для удаления свободной воды;

2 ступень – принудительное геоконтейнерное обезвоживание для удаления части связанной воды.

Перспективным способом обезвоживания осадков выступает их обработка в тканевых геоконтейнерах [9]. При этом объем осадков снижается в 10-15 раз, а значения влажности в пределах 60-75 %, что позволяет использовать обезвоженные осадки буровых сточных вод и водоподготовки в качестве добавок при компостировании осадков сточных вод нефтяного комплекса, а также сырья для производства грунтоподобных рекультивационных материалов.

При смешении осадков происходит адгезионное присоединение коллоидных частиц к частицам выбуренной породы, что улучшает их гравитационное уплотнение на первой стадии обезвоживания.

Исследования по двухступенчатому обезвоживанию осадков проводили на лабораторной установке производительностью 0,6 м³/сут, схема и общий вид которой представлены на рис. 3.

Основным технологическим ядром установки выступают геоконтейнеры на основе полипропиленовой ткани односторонней проводимости.

При обезвоживании на внутренней поверхности геоткани образуется уплотненный слой, позволяющий фильтровать жидкую фазу суспензии в два последовательных этапа:

– через микропоры фильтрующей поверхности геоконтейнера.

– через наращиваемый уплотненный слой;

Основными стадиями обезвоживания являются:

– проникновение жидкости в поры и их насыщение свободой водой;

– перемещение влаги по поровым каналам под действием сил гравитации и капиллярных сил всасывания;

– удаление жидкости из поровых каналов.

В основу процесса геоконтейнерного фильтрования положен закон Дарси.

В табл. 3 представлены данные о величине влажности осадка W_{OC} и высоте слоя осадка H_{OC} при продолжительности его обработки в геоконтейнере T_{OB} .

Т а б л и ц а 3

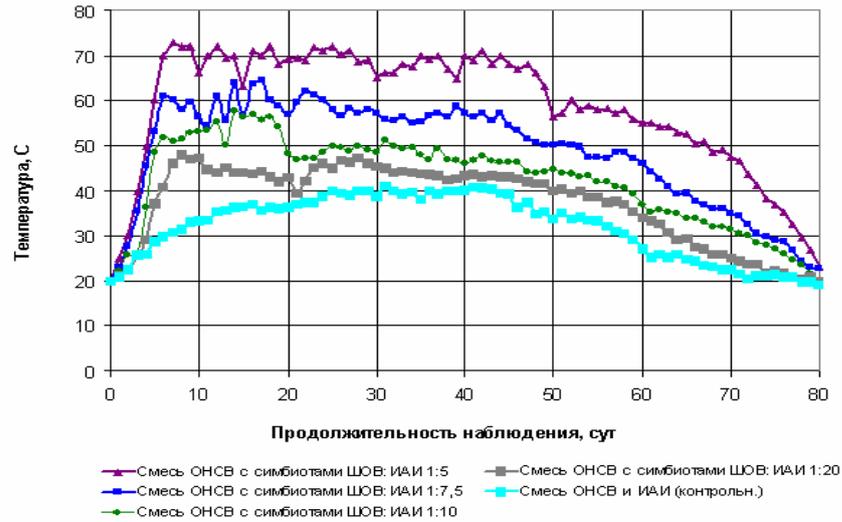
Данные о величине влажности осадка W_{OC} и высоте слоя осадка H_{OC}

при продолжительности его обработки в геоконтейнере T_{OB}

Продолжительность обработки осадка в геоконтейнере T_{OB} , ч	0	1	2	3	6	12	24	48
Влажность осадка W_{OC} , %	97,0	96,16	95,61	95,03	92,98	82,31	77,93	70,0
Высота слоя осадка H_{OC} , см	47,0	36,7	32,1	28,4	20,1	8,0	6,4	4,7

Анализ данных, приведенных в табл. 4, показал, что процесс обезвоживания осадка в геоконтейнерах протекает в две стадии. Обезвоживание на первой стадии геоконтейнерного фильтрования происходит в течение первых 12 часов при умеренных концентрациях сухого вещества. При этом влажность осадка уменьшается с 97,0–97,5 % до 82,0–85,0 %. На второй стадии (36 часов) влажность осадка уменьшается с 82,0–85,0 % до 69–70 %, а обезвоживание происходит при повышенных значениях концентрации сухого вещества.

а



б

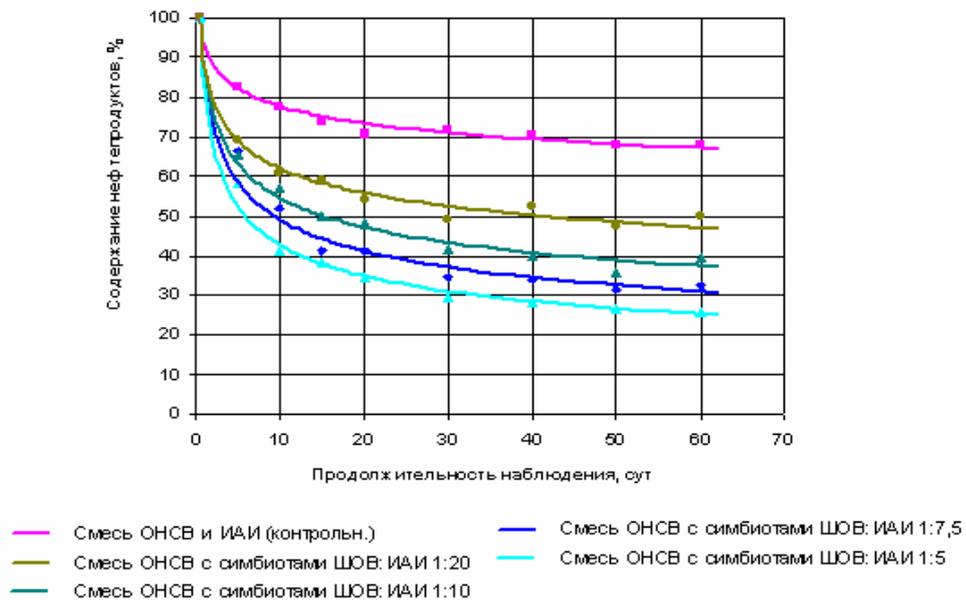


Рис. 1. Температурно-временная характеристика и кривые распада нефтепродуктов процесса обработки ОНСВ

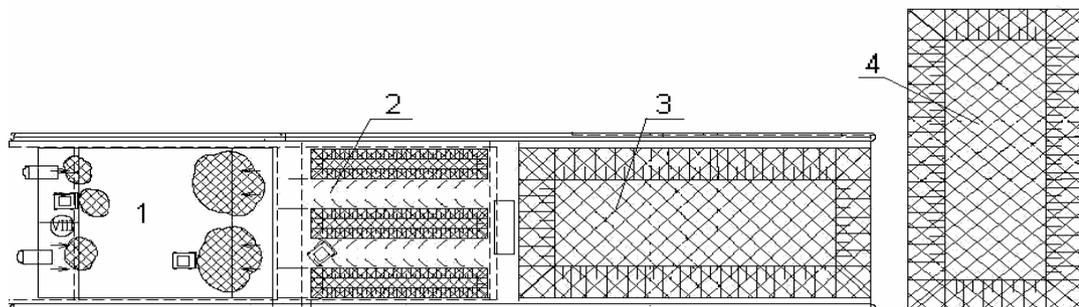


Рис. 2. Общий вид и компоновочный план комплекса биодеструкции нефтесодержащих осадков ОАО «Самаранефтегаз»:

1 – зона первичной подготовки исходной компостной смеси; 2 – зона штабельной инокуляции; 3 – зона кавальерной биодеструкции; 4 – зона дозревания

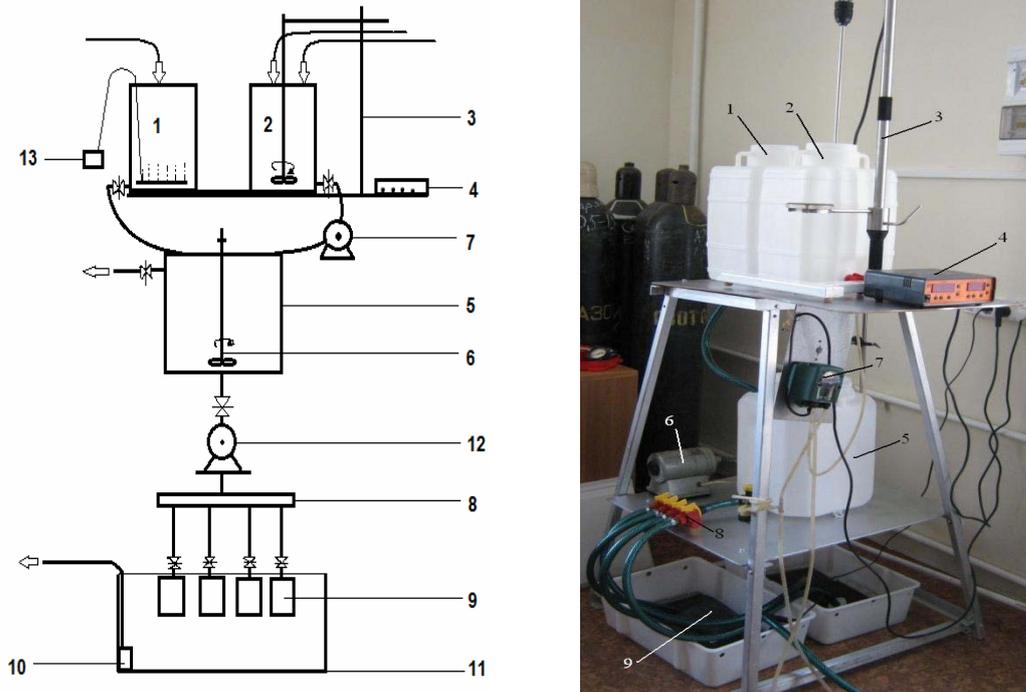


Рис. 3. Схема и общий вид лабораторной установки обезвоживания осадков:
 1 – шламприемник; 2 – растворный бак; 3 – мешалка; 4 – блок управления;
 5 – илоуплотнитель; 6 – механическая мешалка осадка (лопастная низкооборотная электромешалка); 7 – перистальтический насос; 8 – распределительная камера уплотненного осадка; 9 – геотекстильные контейнеры; 10 – погружной насос; 11 – емкость для сбора фильтрата; 12 – иловый насос; 13 – воздуходувка

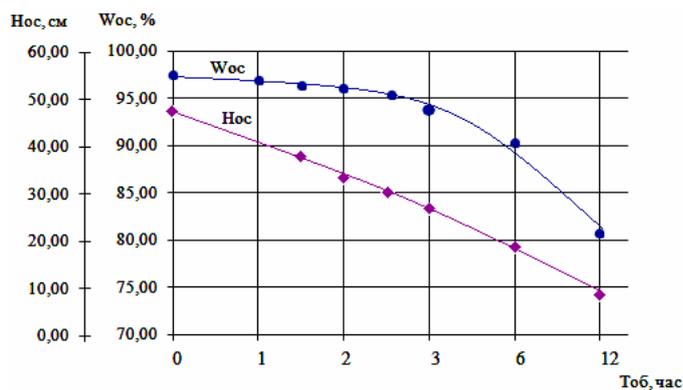


Рис. 4. Зависимость величин влажности осадка W_{OC} и высоты слоя осадка H_{OC} от времени процесса его обезвоживания T_{OC} в геоконтейнере для первой стадии процесса

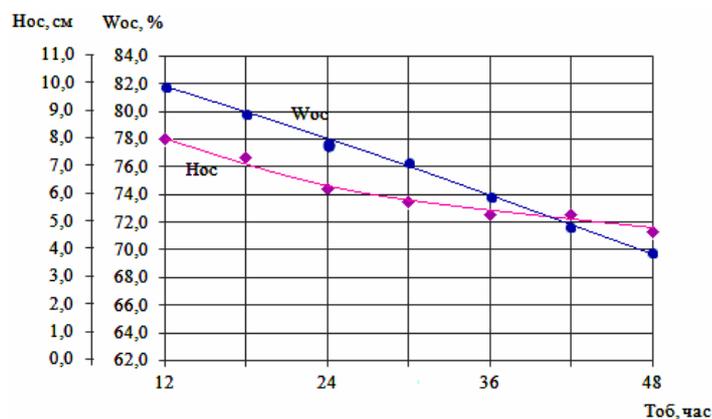


Рис. 5. Зависимость величины влажности осадка W_{OC} и слоя осадка H_{OC} от времени процесса его обезвоживания в геоконтейнере T_{OC} для второй стадии процесса

Зависимость величин влажности осадка W_{OC} и высоты слоя осадка H_{OC} от времени процесса его обезвоживания T_{OB} в геоконтейнере для первой стадии процесса представлена на рис. 4.

Зависимость величины влажности осадка W_{OC} и слоя осадка H_{OC} от времени процесса его обезвоживания в геоконтейнере T_{OB} для второй стадии процесса представлена на рис. 5.

В ходе проведения эксперимента обезвоживанию подвергался ОВП с исходной влажностью 98,7 %, ОБСВ с исходной влажностью 87 %, а также их смесь в соотношении ОВП к ОБСВ 1:1, 1:0,5, 1:0,3.

Рациональный диапазон объемных соотношений ОВП и ОБСВ перед подачей их смеси на геоконтейнерное обезвоживание составляет 1:0,2–1:0,4.

Полученные в ходе эксперимента образцы обезвоженных осадков подвергались компаундированию с целью получения грунтоподобного материала, пригодного для использования в качестве заменителя природного грунта. В создаваемых грунтовых композитах ОВП, как менее плотные, более мелкодисперсные и влажные, создают пластифицирующую основу, а ОБСВ – устойчивый скелетообразующий каркас, принимающий на себя основную нагрузку.

Новый метод комплексной обработки и утилизации осадков нефтесодержащих сточных вод (включая стадии геоконтейнерного обезвоживания и дробного компостирования) использован при производстве компостных рекультивационных материалов для восстановления геосреды, нарушенной деятельностью нефтеперерабатывающих заводов [8].

При этом на базе реконструируемых шламонакопителя и полигона ОАО «Куйбышевский НПЗ» запроектирован комплекс переработки и утилизации шламовых отходов и осадков сточных вод с минимальным воздействием на компоненты окружающей природной среды.

Список литературы

1. Пат. Российская Федерация № 2250146. Способ переработки нефтешламов и очистки замазученных грунтов / Д.Е. Быков, К.Л. Чертес, В.А. Бурлака [и др.]. – заявл. 19.01.04.; опубл. 20.04.05, Бюл. № 11. – 20.04.05.
2. Пат. 2249580 Российская Федерация, МПК 7 С 05 F 3/00. Способ обработки и утилизации органо-содержащих отходов / К.Л. Чертес, Д.Е. Быков, О.В. Тупицына, В.М. Радомский, М.П. Седогин, Н.Н. Ендураева (РФ). – № 2003101872; заяв. 23.01.03; опуб. 10.04.05, Бюл. № 10. – 4 с.
3. Пат. 2231995 Российская Федерация, МПК 7 С 05 F 3/00. Способ переработки нефтешламов и очистки замазученных грунтов / К.Л. Чертес, Д.Е., Быков О.В. Тупицына, В.М. Радомский, Н.А. Уварова, О.А. Самарина, Е.П. Истомина, Д.В. Зеленцов (РФ). – № 20010134446 заяв. 17.08.10; опуб. 10.10.11, Бюл. № 21. – 4 с.
4. Чертес, К.Л. Технология компостирования осадков сточных вод / К.Л. Чертес, И.С. Туровский. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1991. – 33 с.
5. Тараканов, Д.И. Технология обработки нефтезагрязнённых грунтов и осадков сточных вод с целью их использования в качестве изолирующих материалов на полигонах захоронения твёрдых бытовых отходов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04, 03.00.16 / Д.И. Тараканов. – Самара, 2001. – 178 с.
6. Волова, Т.Г. Биотехнология / Т.Г. Волова. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской Академии наук, 1999. – 252 с.
7. Быков, Д.Е. Комплекс биодеструкции нефтеотходов // Д.Е. Быков, О.В. Тупицына, Н.Г. Гладышев, Д.В. Зеленцов и др. // Экология и промышленность России. – 2011. – №3. – С. 33–34.
8. Чертес, К.Л. Интенсивная биотермическая обработка шламовых отходов нефтяного комплекса / К.Л. Чертес, Д.Е. Быков, О.В. Тупицына, О.А. Самарина, Н.А. Сафо-

нова (Уварова), Е.П. Истомина, А.М. Штеренберг // Экология и промышленность России. – 2010. – №3. – С. 36–39.

9. Чертес, К.Л. Обработка и утилизация шламов водоподготовки / К.Л.Чертес, О.В.Тупицына, Н.Г. Гладышев, Н.А. Сафонова (Уварова), С.Е.Никифоров, А.А.Ярыгина, Д.Е.Быков // Экология и промышленность России. – 2011. – №3. – С.26–29.

References

1. Pat. RF №2250146 Method of oil slime treatment and oil contained ground purification / Bykov D.E., Chertes K.L., Burlaka V.A. and other. – statement 19.01.04; publ. 20.04.05, Bulletin №11. – 20.04.05.

2. Pat. RF №2249580 МПК 7 C05F 3/00 Method of organic contained waste treatment and reclamation / Chertes K.L., Bykov D.E., Tupitsyna O.V., Radomsky V.M., Sedogin M.P., Enduraeva N.N. – № 2003101872 statement 23.01.03; publ. 10.04.05, Bulletin №10. – 4 p.

3. Pat. RF №2231995 МПК 7 C05F 3/00 Method of oil slime treatment and oil contained ground purification / Chertes K.L., Bykov D.E., Tupitsyna O.V., Radomsky V.M., Uvarova N.A., Samarina O.A., Istomina E.P. – № 200310134446 statement 17.08.10; publ. 10.10.11, Bulletin №21. – 4 p.

4. Chertes, K.L. Technology of waste water sediment composting / K.L. Chertes, I.S. Turovsky. – М.: VNIPIEI lesprom. 1991. – 33 p.

5. Tarakanov, D.I. Technology of oil contained ground and waste water sediment treatment with the purpose of reclamation in storage domestic garbage polygons as insulation materials: diss... bachelor of techn. sciences: 05.23.04, 03.00.16 / Tarakanov Dmitry Ivanovich. – Samara, 2001. – 178 p.

6. Volova T.G. Biotechnology / T.G. Volova. – Novosibirsk: Siberian department of Russian Science Academy Publishing House, 1999. – 252 p.

7. Bykov, D.E. The complex oil waste destruction / D.E. Bykov, O.V. Tupitsyna, N.G. Gladyshev, D.V. Zelentsov and other // Ecology and industry of Russia. – 2011. – №3. – P. 33–34.

8. Chertes, K.L. Intensive biothermal treatment of the oil complex waste / K.L. Chertes, O.V. Tupitsyna, O.A. Samarina, N.A. Safronova (Uvarova), E.P. Istomina, A.M. Shterenberg // Ecology and industry of Russia. – 2010. – №3. – P. 36–39.

9. Chertes, K.L. Treatment and reclamation of water purification slime / K.L. Chertes, O.V. Tupitsyna, N.G. Gladyshev, N.A. Safronova (Uvarova), S.E. Nikiforov, A.A. Yarygina, D.E. Bykov // Ecology and industry of Russia. – 2011. – №3. – P. 26–29.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 519.711.2

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор,
советник РААСН, действительный член
Нью-Йоркской Академии наук и Академии
информатизации образования,
зав. каф. «Информационные системы
и компьютерное моделирование»
Тел.: (+7)9061594207
E-mail: koshev@pguas.ru

Кузина Валентина Владимировна,
доцент кафедры «Информационные
системы и компьютерное моделирование»
Тел.: (+7)9023410172
E-mail: kuzina@pguas.ru

Глебова Татьяна Александровна,
доцент кафедры «Информационные
системы и компьютерное моделирование»
Тел.: (+7)9270965903
E-mail: tan.1952@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

Koshev Alexander Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor, Adviser of
the Russian Academy of Architectural and
Building the full member of the New York
Academy of Sciences and Academy of information
of education, Head of the department
«Information systems and computer modeling»
Tel.: (+7)9061594207
E-mail: koshev@pguas.ru

Kuzina Valentina Vladimirovna,
Associate professor of the department
«Information Systems and Computer Modeling»
Tel.: (+7)9023410172
E-mail: kuzina@pguas.ru

Glebova Tatjana Alexandrovna,
Associate professor of the department
«Information Systems and Computer Modeling»
Tel.: (+7)9270965903
E-mail: tan.1952@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

А.Н. Кошев, В.В. Кузина, Т.А. Глебова

Приводятся математические модели и методы решения задач, которые связаны с различными разделами строительной науки и технологии и выполнялись при участии авторов, а именно задач оптимизации размеров конструкций портовых сооружений; расчета переноса примеси в различных средах, определения концентраций металлов в сточных водах, прогнозирования свойств строительных материалов.

Ключевые слова: моделирование в строительстве, задачи управления, оптимальные размеры конструкций, прогнозирование процессов массопереноса

MATHEMATICAL MODELING AS AN ELEMENT OF MANAGEMENT IN THE OBJECTIVES OF CONSTRUCTION INDUSTRY SECTOR

A.N. Koshev, V.V. Kuzina, T.A. Glebova

This article focuses on mathematical models and methods of problem solving, which are associated with different sections of construction science and technology. Among them are optimization of port structures sizes, calculation of impurity carrying over in various environments, estimation of metals concentration in sewage, forecasting of building materials properties.

Keywords: modeling in construction, problems of management, the optimum sizes of designs, forecasting of processes of transfer of substance.

Введение. Разработка математических моделей строительных систем и технологий позволяет исследовать процессы и конструкции, не прибегая к натурному эксперименту, определять критические состояния и оптимизировать решение задач по различным критериям, таким, как прочность, долговечность, стоимость и др. Ниже приводятся примеры постановки задач, которые связаны с различными разделами строительной науки и технологии и требуют для своего решения применения методов математического моделирования.

Математическое моделирование и оптимизация размеров конструкций портовых гидротехнических сооружений. Портовые сооружения из массивной кладки с различного вида надстройками, применяемые в северных районах России, обладают высокой материалоемкостью и, как следствие, значительной стоимостью. Один полный расчет гравитационной конструкции в соответствии с действующими нормативами требует затраты 50–55 чел/ч. Такой объем работ не позволяет выполнить более одного-двух подборочных расчетов и, соответственно, получить конструкцию с оптимальными размерами. Практически такую задачу можно решить только с помощью математического моделирования и методов оптимизации [1].

Для расчета портовых гидротехнических сооружений использовался метод предельных состояний. Выбор оптимальной схемы производился из условия минимума стоимости конструкции при выполнении заданных условий строительства, при этом рассматривались две возможные схемы (рис. 1): с разгрузочной консолью – схема I и без нее – схема II.

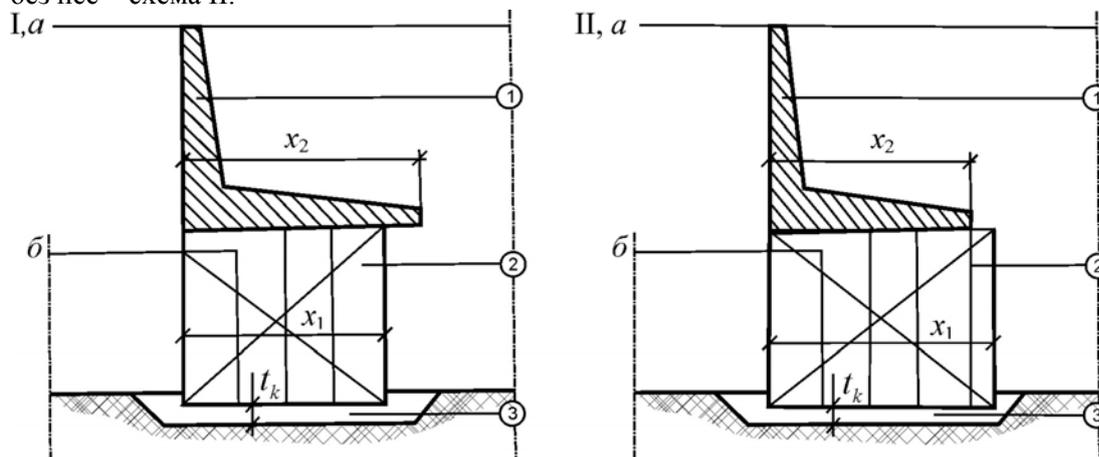


Рис. 1. Расчетная схема:

- 1 – надстройка из монолитного или сборного железобетона; 2 – подводная часть – массивовая кладка, ряж, опускной колодец; 3 – основания – каменная постель;
a – максимальное расчетное уравнение; *b* – минимальное

В качестве независимых параметров выбраны ширина подводной части x_1 и ширина надстройки x_2 . Набор расчетов и их состав полностью соответствуют действующим нормативным документам. При этом проводились проверки: 1) устойчивости: надстройки по основанию по схеме плоского сдвига; сооружения по схеме плоского сдвига по контакту сооружение – постель; 2) ограничений величин сжимающих и растягивающих напряжений по контактам: надстройка – основание; сооружение – основание.

Формализуя физическую постановку задачи, можно записать ее в следующем виде: минимизировать стоимость сооружения $\min S(x_1, x_2)$ при ограничениях $f_i(x_1, x_2) \leq 0$, $i = 1, \dots, 8$. Здесь общая стоимость складывается из стоимости каждого из элементов конструкции: основания, надстройки и обратной засыпки. Поскольку вид функций $f_1(x_1, x_2), \dots, f_8(x_1, x_2)$ чрезвычайно громоздкий, в аналитическом виде они здесь не приводятся. Функции $S(x_1, x_2), f_i(x_1, x_2)$ ($i = 1, \dots, 8$) не линейны относительно координат x_1, x_2 , и, следовательно, решаемая задача является задачей нелинейного програм-

мирования. Для решения использовался метод штрафных функций – метод внешней точки с функцией для безусловной минимизации следующего вида:

$$F(x_1, x_2) = S(x_1, x_2) + t_k \sum \frac{|f_i(x_1, x_2)| - f_i(x_1, x_2)}{2}.$$

Для получения решения задачи функцию $F(x_1, x_2, t_k)$ необходимо минимизировать для неограниченной, строго возрастающей последовательности чисел $\{t_k\}$. С учетом специфики функций $f_i(x_1, x_2)$, $S(x_1, x_2)$ установлено, что хорошие результаты можно получить при минимизации $F(x_1, x_2)$ методом Хука и Дживса – модифицированным покоординатным спуском.

Для численного решения задач составлен программный комплекс для ЭВМ, внедрение которого в одном из проектных институтов повысило производительность труда проектировщика при расчете описанных сооружений в среднем в 35 раз и снизило стоимость сооружения на 10 %.

Математическая модель расчета переноса пассивной примеси в ограниченном пространстве. Одной из актуальных задач отопительно-вентиляционной техники является расчет полей температур и концентраций примесей в потоках воздуха или воды. Для многих практических случаев задача может сводиться к расчету переноса пассивной величины Φ – температуры, концентрации, энтальпии – в турбулентном потоке. Рассмотрим случай, когда размер источника существенно меньше размеров основного течения. Решение задачи производилось в два этапа. На первом по известному методу определялись поля осредненных скоростей и характеристик турбулентности. Для многих важных инженерных случаев указанные величины (пограничные слои, пристенные струи, течения в трубах, каналах и т.д.) известны, что существенно упрощает расчеты по 1-му этапу. На 2-м этапе находятся поля функции Φ на основе решения уравнения переноса эллиптического типа:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \Phi) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v \Phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \Gamma_{\Phi} \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right),$$

где x и r – цилиндрические координаты; ρ – плотность; Γ_{Φ} – коэффициент турбулентного переноса; u и v – проекции осредненных скоростей в направлениях x и r .

Задача решалась конечно-разностным методом, посредством аппроксимации первых и вторых производных и переменных коэффициентов их дискретными аналогами с использованием регулярной квадратной сетки.

Для реализации методов разработаны специальные вычислительные процедуры. Результаты расчета полей функции Φ показали хорошее согласование модельных расчетов и опытных данных.

Информационная система прогнозирования свойств строительных материалов для защиты от радиации. Развитие ядерных технологий, устройство в регионах захоронений радиоактивных отходов и другие техногенные причины приводят к необходимости разработки и внедрения новых строительных материалов, обладающих невысокой себестоимостью и наилучшими защитными свойствами для снижения γ -излучения в помещениях и защиты населения от мощных источников ионизирующих излучений. Установлено, что макроскопическое сечение взаимодействия или линейный коэффициент ослабления излучения зависит от плотности и содержания химических элементов в строительных материалах. Поэтому важным является выяснение закономерностей, которым подчиняются характерные количественные соотношения и связи.

Для выбора известных строительных материалов и конструирования новых разработана информационная система, в которой предусмотрены базы данных для изучения свойств защитных материалов, а также математические модели для прогнозирования состава материалов с нужными защитными способностями.

Регрессионный анализ позволяет исследовать влияние факторов на целевые параметры и прогнозировать изменение последних в зависимости от изменения

факторов. Например, увеличение количества кислорода в составе обычного бетона с бором на 20 % приводит к увеличению линейного коэффициента ослабления γ -излучения на 12 %, что улучшает защитные свойства бетона.

Математическое моделирование в системе CaO – SiO₂ – H₂O. При разработке бетонных смесей важно исследовать процессы, которые протекают в системе CaO – SiO₂ – H₂O и имеют место при схватывании и твердении силикатных вяжущих. Посредством математического моделирования показано: 1) в такой системе возникают как затухающие, так и незатухающие колебания концентраций промежуточных неустойчивых соединений; 2) система дифференциальных уравнений, моделирующая процесс, является неустойчивой по Ляпунову; 3) кинетика изменения концентраций CaO и SiO₂ в жидкой фазе системы подобна микрокинетики промежуточных неустойчивых соединений X_1 , X_2 и X_3 , где X_1 – радикалы Н и ОН; X_2 и X_3 – короткоживущие центры поверхности частиц SiO₂ на атомах кремния и атомах кислорода соответственно.

Исследовано влияние временного интервала на амплитуду и частоту колебаний концентрации промежуточных неустойчивых соединений на основе системы линейных дифференциальных уравнений, связывающей концентрации X_1 , X_2 и X_3 и константы k_1, \dots, k_6 скоростей превращения компонентов химических реакций:

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = k_1 \cdot X_1 + (k_4 - k_2) \cdot X_2 + (k_5 - k_3) \cdot X_3; \\ \frac{dX_2}{dt} = k_2 \cdot X_1 - k_4 \cdot X_2 - k_6 \cdot X_2 \cdot X_3; \\ \frac{dX_3}{dt} = k_3 \cdot X_1 - k_5 \cdot X_3 - k_6 \cdot X_3 \cdot X_2, \end{cases}$$

где $t \in [0, 1]$, с.

Расчетами (рис. 2) установлено, что величина временного интервала влияет на частоту и форму колебаний концентраций в ходе синтеза гидросиликатов кальция.

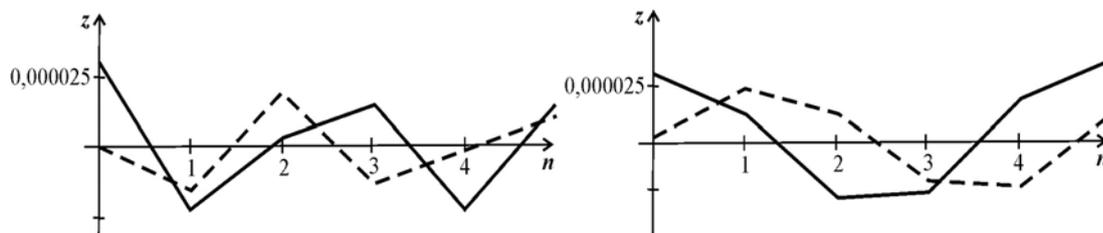


Рис. 2. Расчетные кривые концентраций X_1 (сплошные линии), $X_2 = X_3$ (пунктирные линии) для различных временных интервалов:
 $t = 1,296$ сут; $t = 0,432$ сут

Полученные данные позволяют утверждать, что элементарные стадии процессов образования и взаимодействия активных частиц X_1 , X_2 , X_3 во времени протекают нелинейно, а константы скоростей в ходе синтеза изменяются в определенных пределах.

Математическое моделирование распределения влаги при увлажнении пористых материалов. Увлажняемый материал рассматривается как пористая среда с распределенными по объему эффективными характеристиками, такими, как пористость, теплопроводность, адсорбционные свойства и др. [2]. В процессе увлажнения материала среды в каждой точке пористого пространства происходит реакция адсорбции влаги, которая имеет свои макро- и микроскопические закономерности. Известно, что изме-

нение влажности среды во времени $\frac{d\varphi}{dt}$ подчиняется закону сохранения вещества и может быть выражено, в первом приближении, дифференциальным соотношением

$$\frac{d\varphi}{dt} = D \frac{d^2\varphi}{dx^2} - \frac{d(\varphi \cdot w)}{dx} - kF_{\text{пс}} \cdot f(\varphi),$$

где k – константа скорости адсорбции на единицу поверхности; $F_{\text{пс}}$ – удельная поверхность единицы объема пористой среды, $\text{м}^2/\text{м}^3$; x – пространственная координата по толщине материала; w – скорость потока влажного воздуха.

В начальный момент времени влажность в любой точке рассматриваемой псевдогомогенной среды можно считать равной влажности воздуха φ_0 в производственном помещении: $\varphi(0, x) = \varphi_0$, $\varphi(t, 0) = \varphi_0$. Анализ изменения влагосодержания воздуха при прохождении его через границу пористой среды позволил вывести условие для производной $\frac{d\varphi}{dx}$ в точке $x = 0$:

$$\frac{d\varphi}{dx}(t, 0) = - \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \cdot \frac{\rho}{Q_{\text{max}}} (f(\varphi(0)) - W_0).$$

Здесь W_0 – удельное влагосодержание материала до увлажнения; Q_{max} – максимальное количество водяного пара в единице объема влажного воздуха; ρ – плотность пористого материала; ε – коэффициент пористости.

Кроме того, можно предположить, что в отдаленных от границы точках объема пористой среды влажность воздуха является постоянной величиной, то есть на некотором расстоянии δ от границы $\left. \frac{d\varphi(t, x)}{dx} \right|_{x=\delta} = 0$. Это условие полезно использовать для контроля численного решения.

Плотность источника поглощения влаги из увлажняющего воздуха задается уравнением $j_{\text{ист}} = kF_{\text{пс}} f(\varphi)$. Зависимость адсорбции влаги $W_p = f(\varphi)$ можно записать в виде

$$W_p = k_2 \frac{\ln(1 + \varphi)}{\ln(k_3 + \varphi)} e^{k_1(\varphi - \varphi_c)} + \frac{W_H}{1 + (W_H/W_M - 1)e^{-k\varphi}},$$

где k_1 , k_2 , k_3 и φ_c – некоторые константы, значения которых найдены методами математической обработки экспериментальных данных.

Как видно из рис. 3, на котором представлены графики экспериментальных (1) и теоретических (2) зависимостей влагосодержания $W_p(\varphi)$ от относительной влажности воздуха $\varphi(x)$, математическая зависимость достаточно точно отображает равновесный процесс взаимодействия.

Мониторинг распространения возможных техногенных загрязнений водной среды региона на основе математических моделей. Существующие виды мониторинга окружающей среды различаются по характеру отслеживаемых загрязнений среды и зависят от методов и целей наблюдения. При построении математических моделей важно учитывать три

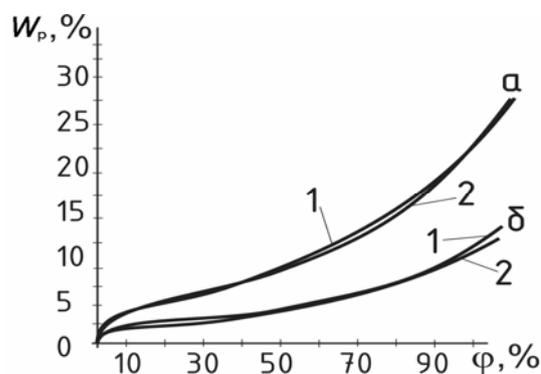


Рис. 3. Экспериментальные (1) и теоретические (2) зависимости влагосодержания от относительной влажности воздуха: а – вискоза; б – капрон

основных варианта массопереноса загрязняющего вещества (ЗВ): 1) диффузионный; 2) конвективно-диффузионный; 3) преимущественно конвективный [3]. В каждом случае в зависимости от технологической ситуации рассматриваются одномерные, двумерные или трехмерные математические модели.

При **одномерной диффузии**, когда конвективными процессами можно пренебречь (узкие каналы со стоячей или слаботекущей водой), возможно два варианта распространения ЗВ: 1) из точечного источника с известным количеством ЗВ; 2) из постоянно действующего источника, распространяющего в некоторой точке водоема известное количество вещества в единицу времени. Математическим описанием процесса загрязнения в обоих случаях будет уравнение диффузии в жидкой среде, отражающее второй закон Фика:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2},$$

где $C(x, t)$ – концентрация ЗВ в точке с координатой x в момент времени t ($x \geq 0, 0 \leq t \leq \tau$); D – коэффициент диффузии. Однако начальные и граничные условия для уравнения диффузии существенно различаются, в зависимости от задачи: для 1-го случая $C(0, t) = C_0, C(x, 0) = 0, C(\infty, t) = 0$, где C_0 – концентрация ЗВ в источнике; для 2-го случая: а) $C(0, t) = C_0(t), C(x, 0) = 0, C(\infty, t) = 0$, где $C_0(t)$ – известная зависимость разбавления начальной концентрации источника C_0 от времени t ; б) $C(x, 0) = 0, C(0, t) = C_0, P(t) = P_0$ и $\left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=0} = P(t)$, где $P(t)$ – известный поток ЗВ, $P(t) \geq 0$. Соответственно будут различными и решения данных краевых задач.

Представив решение в виде интеграла Пуассона, можно получить формулу $C(x, t) = C_0 [1 - \Phi(z)]$, где $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\alpha^2} d\alpha$ для $z = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$. Значения функции

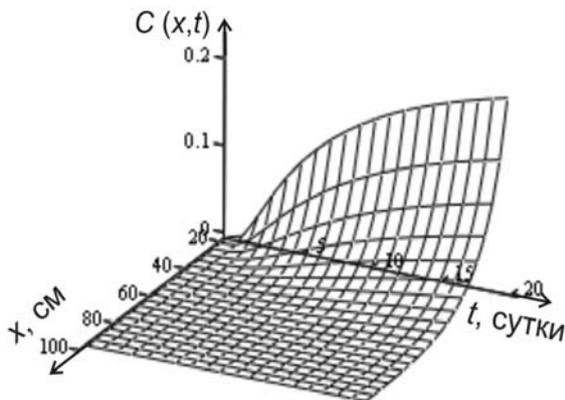


Рис. 4. Диффузия ЗВ при постоянной плотности потока

ошибок $\Phi(z)$ можно найти в специальных таблицах. На рис. 4 представлен пример решения второй из вышеперечисленных задач.

Задача **двумерной диффузии** возникает, например, когда попадание ЗВ в водоем происходит на некотором участке границы водоема, достаточно малом в сравнении с размерами всей границы водоема. В этом случае уравнение, заданное в некоторой области, моделирующей водоем, имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right).$$

Когда на участке границы $[-a, a]$ находится постоянно действующий источник с плотностью $p(x, t)$, а начальная концентрация ЗВ в пространстве равна нулю, можно выбрать следующие граничные условия:

$$C(x, y, 0) = 0, \left. \frac{\partial C}{\partial y} \right|_{y=0} = \begin{cases} p(x, t) & \text{при } x \in [-a, a], \\ 0 & \text{при } x \notin [-a, a], \end{cases}$$

$$C(x, 0) \Big|_{-a \leq x \leq a} = C_0, C(x, y) \Big|_{y=\infty} = 0, C(x, y) \Big|_{x=\pm\infty} = 0.$$

Решение можно получить с помощью преобразования Фурье с ядром специального вида. Предполагая, что в любой точке $x \in [-a, a]$ в любой момент времени t плотность потока ЗВ $p(x, t) = \text{const} = p$, получаем:

$$C(x, y, t) = \frac{P}{(2\sqrt{D\pi})^3} \int_0^t \int_{-a}^a \left[\frac{1}{(t-\tau)^{3/2}} \right] \cdot e^{-\frac{(x-\xi)^2+y^2}{4D(t-\tau)}} d\xi d\tau.$$

Пример диффузии с плотностью потока $p = 100$ см³/сут в фиксированный момент времени $t = 2$ сут приведен на рис. 5.

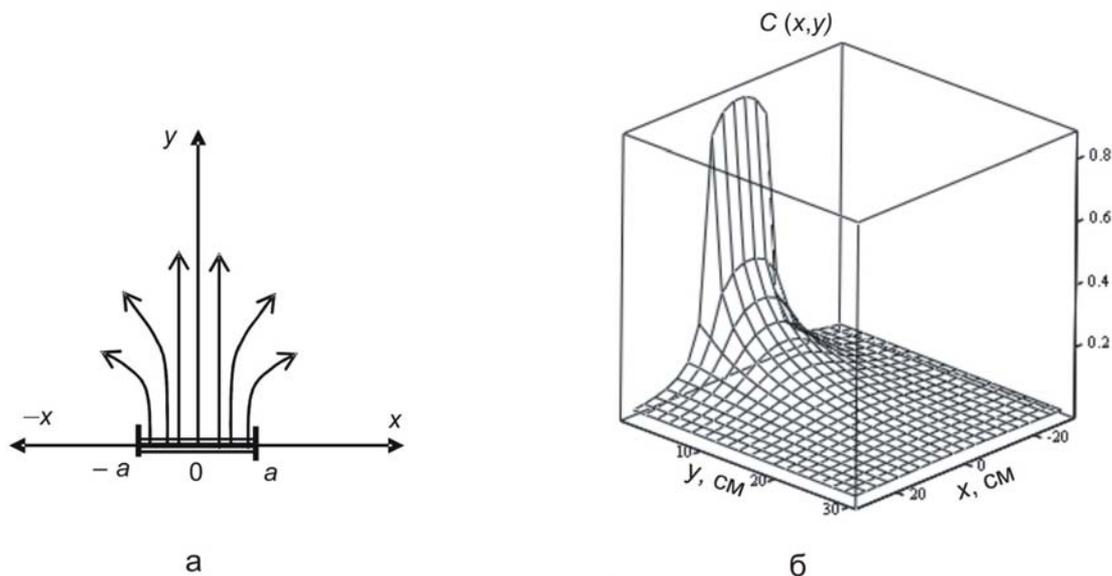


Рис. 5. Двумерная диффузия:

а – источник ЗВ с плотностью $p(x, t)$ на участке $[-a, a]$;

б – распределение концентрации в точках водоема, примыкающих к источнику ЗВ

Случай **трехмерной сферической диффузии** ЗВ в однородной среде характерен, когда источник ЗВ постоянной мощности, выделяющий в единицу времени некоторое количество q вещества, действует в начале координат, а в окружающем пространстве начальная концентрация равна нулю. Этот случай в сферических координатах описывается уравнением

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right).$$

Можно считать, что диффузия происходит через сферу радиуса ε (с центром $r = 0$), а диффузионный поток в единицу времени равен q . Так как площадь поверхности сферы радиуса r равна $A = 4\pi r^2$, можно записать для производной: $-\frac{\partial C}{\partial r} \cdot 4\pi r^2 \Big|_{r=\varepsilon} \rightarrow q$ при $\varepsilon \rightarrow 0$. Для распределения концентрации вдоль радиуса с те-

чением времени получим: $C(r, t) = \frac{q}{4\pi r} \left[1 - \Phi \left(\frac{r}{2\sqrt{Dt}} \right) \right]$, где $\Phi(z)$ – функция ошибок.

При попадании в водоем ограниченного количества ЗВ задачу массопереноса можно решить, перейдя к случаю мгновенного источника: $C(r, t) = \frac{Q}{4\pi k r} \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{r^2}{4Dt}} \cdot \frac{r}{4D\sqrt{Dt^3}} \cdot D$, где $Q = q\tau$ (q – мощность источника).

Важной является задача сферической диффузии ЗВ из источника постоянной мощности q , действующего на глубине водоема:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = D \frac{\partial^2 V}{\partial r^2},$$

где $V(r, t) = r \cdot C(r, t)$, а координата x заменена радиусом-вектором r . Начальное условие: $V(r, 0) = 0$, т.е. в начальный момент времени концентрация ЗВ в любой точке рассматриваемого пространства равна 0. Граничное условие в окрестности начала координат: $V(0, t) = \frac{q}{4\pi} = V_0$. Решением будет уравнение $V(r, t) = V_0 \left[1 - \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right]$.

Следовательно, $C(r, t) = \frac{2q}{4\pi r \sqrt{\pi}} \cdot \int_{\frac{r}{2\sqrt{Dt}}}^{\infty} e^{-\alpha^2} d\alpha$. Результаты приведены на рис. 6.

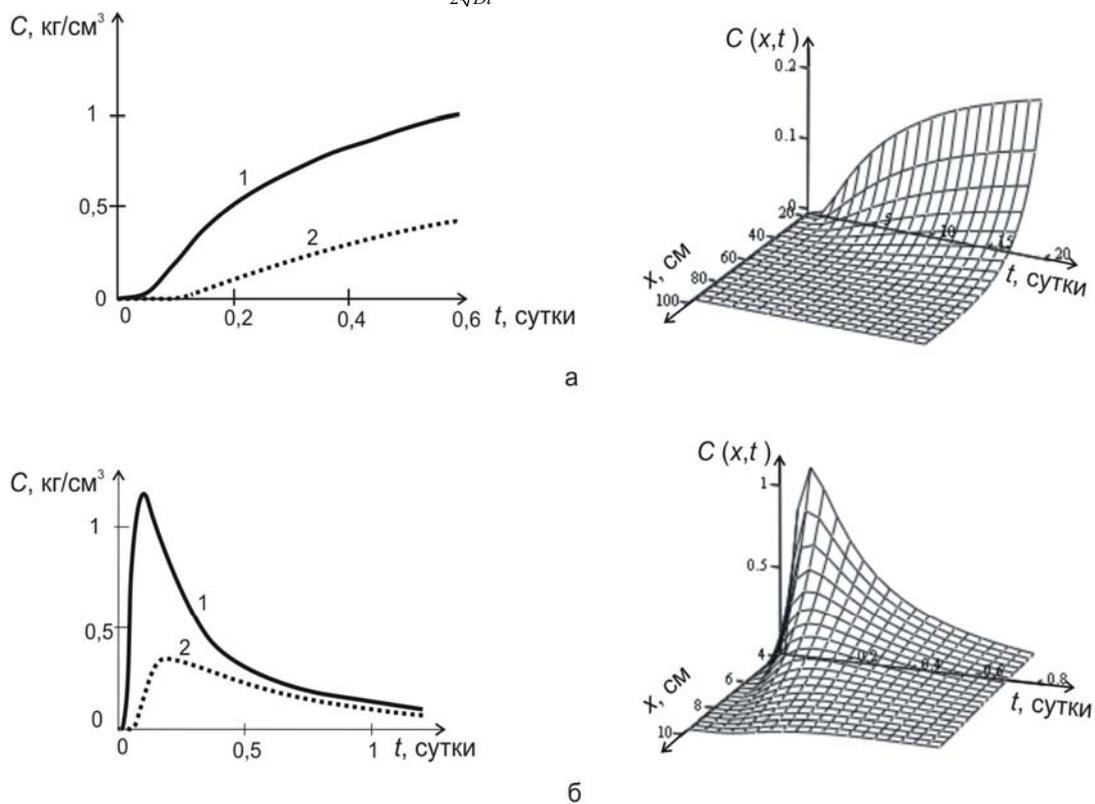


Рис. 6. Изменение концентрации вещества с течением времени:

а – на расстояниях $x = 4$ и 6 см от источника ЗВ соответственно для линий (1) и (2);
 б – для поверхностей сфер, описанных радиусом $r = 4$ и 6 см из центра источника для линий (1) и (2) соответственно

Влияние конвективной составляющей необходимо учитывать при мониторинге движущейся среды: рек, проточных водоемов и т.п. Для моделирования процессов **одновременного конвективного и диффузионного переноса** и преимущественно **конвективного** переноса ЗВ разработаны компьютерные процедуры реализации численных методов решения дифференциальных уравнений. Распределение концентрации примеси C в этом случае подчиняется уравнению переноса вещества в гомогенной среде:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u C) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v C) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right),$$

а краевые условия задаются в зависимости от технологической ситуации. Задача решалась конечно-разностным методом с регулярной квадратной сеткой, некоторые результаты представлены на рис. 7.

Для реализации алгоритмов мониторинга распространения возможных техногенных загрязнений построена информационная система (ИС), позволяющая вести расчет и прогнозирование по одной или нескольким моделям (на выбор пользователя) с последующим сравнением полученных результатов с предельно допустимыми концентрациями веществ. Речная сеть представлена в виде ориентированного графа. ИС содержит БД с информацией о водных объектах области, химических элементах, ЗВ и предельно допустимых концентрациях.

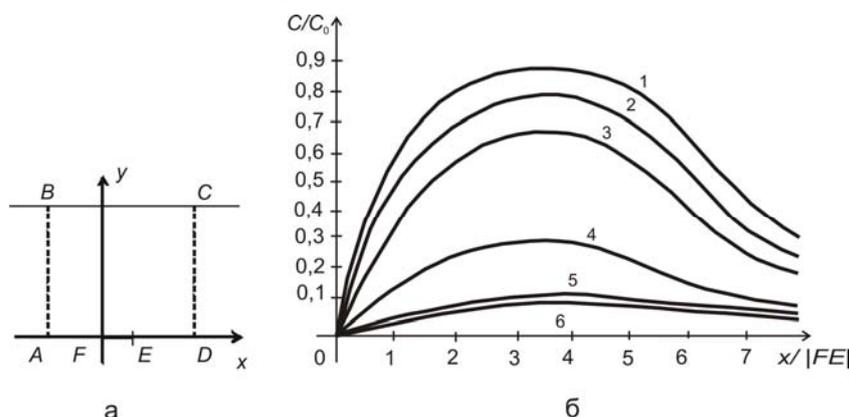


Рис. 7. Изменение относительной концентрации (б) в расчетной области ABCD (а) на расстоянии $n|FE|$ от оси x : линии (1)-(6) соответствуют $n = 0,125; 0,25; 0,375; 0,5; 0,625; 0,75$

Моделирование остаточных концентраций тяжелых и цветных металлов в гальванических стоках. Остаточные концентрации ионов металлов в промышленных стоках определяются методами вольтамперометрии, такими, как полярография, хроновольтамперометрия и т.п. Суть их состоит в использовании явления поляризации микроэлектрода, получении и интерпретации поляризационных кривых зависимости силы тока от приложенного напряжения. Электродные и диффузионные процессы в простом электролите можно с определенной степенью точности описать уравнениями:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}; \quad C(x, 0) = C_0; \quad C(\delta, \tau) = C_0; \quad \frac{\partial C}{\partial x}(0, \tau) = \frac{i(\tau)}{ZF D};$$

$$i(\tau) = i_0 \left(\frac{C(0, \tau)}{C_0} e^{\frac{\alpha Z F}{RT}(E(\tau) - E_0)} - e^{\frac{(\alpha-1) Z F}{RT}(E(\tau) - E_0)} \right),$$

где $C(x, \tau)$ – концентрация электроактивного компонента в точке $x(0 \leq x \leq \delta)$ диффузионного слоя $[0, \delta]$ в момент времени τ ; C_0 – концентрация этого компонента в глубине раствора; $i(\tau)$ – плотность тока на электроде; α, z, F, R, T – константы; D – коэффициент диффузии; $E(\tau)$ – потенциал системы; E_0 – равновесный потенциал электрода; i_0 – ток обмена.

По заданным электрохимическим параметрам и кривой ток – потенциал необходимо определить такое значение концентрации электроактивного компонента C_0 , чтобы теоретическая и экспериментальная кривые были наиболее близки друг к другу, т.е.

$\sum_{k=1}^n [i(\tau_k) - i_k]^2 \rightarrow \min_{C_0}$, где $i(\tau_k)$ – значения плотности тока, рассчитанные из теоретической зависимости, а i_k – экспериментальные значения в тех же точках τ_k , то есть $S(1/C_0) \rightarrow \min$:

$$S\left(\frac{1}{C_0}\right) = \sum_{k=1}^n \left\{ i_0 \left(\frac{C(0, \tau_k)}{C_0} \cdot e^{\frac{\alpha Z F}{RT}(E(\tau_k) - E_0)} - e^{\frac{(\alpha-1) Z F}{RT}(E(\tau_k) - E_0)} \right) - i_k \right\}^2 \rightarrow \min.$$

Легко показать, что для функции $C(x, \tau)$ справедливо выражение:

$$C(x, \tau) = C_0 + i_1 \varphi_1(x, \tau) + \sum_{k=2}^{n-1} i_k (\varphi_{2k-2} + \varphi_{2k-1}) + i_n \varphi_{2(n-1)},$$

$$\frac{\partial \varphi_k}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial x^2}; \quad \varphi_k(x, 0) = 0; \quad \varphi_k(\delta, \tau) = 0; \quad \frac{\partial \varphi_k}{\partial x}(0, \tau) = \frac{\Psi_k(\tau)}{zFD},$$

где φ_k – решения задачи, Ψ_k – некоторые финитные функции простого вида.

После некоторых преобразований получено следующее уравнение для определения искомой концентрации:

$$C_0 = \frac{\sum_{k=1}^n i_0 C(0, \tau_k) e^{\frac{\alpha ZF}{RT}(E(\tau_k) - E_0)}}{\sum_{k=1}^n i_0 e^{\frac{(\alpha-1)ZF}{RT}(E(\tau_k) - E_0)} + i_k}.$$

Для иллюстрации представлены расчеты концентрации ионов меди в сернокислом электролите меднения: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 60,93 г/л; H_2SO_4 – 70 г/л. Электрохимические параметры взяты близкими к значениям, приведенным в «Справочнике по электрохимии»: $z = 2$, $F = 96500$; $D = 5 \cdot 10^{-5}$; $\alpha = 0,3$; $R = 8,1$; $T = 298$, $i_0 = 10^{-5}$; $E_0 = 0,386$. Расчетная концентрация ионов меди равна 1,012 моль/л, что незначительно отличается от истинной концентрации (~1 моль/л). Как видим, проведенные расчеты и экспериментальные исследования показали необходимую адекватность представленной математической модели и используются инженерами для решения задач определения остаточных концентраций гальванопроизводств, что свидетельствует о достаточной точности расчетных формул.

Приведенные задачи показывают, насколько широк спектр проблем строительной отрасли, которые могут быть успешно решены методами математического моделирования.

Список литературы

1. Пинягин, Б.А. Выбор оптимальных размеров портовых гидротехнических сооружений / Б.А. Пинягин, А.Н. Кошев [и др.] // Изв. ВУЗов, Строительство и архитектура. – 1986. – №6. – С. 77–79.
2. Кошев, А.Н. Расчет параметров математической модели процесса увлажнения текстильных полуфабрикатов / А.Н. Кошев, Т.А.Глебова, А.И. Еремкин // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – №7. – С. 29–31.
3. Кузина, В.В. Система мониторинга распространения возможных техногенных загрязнений водной среды региона на основе математических моделей и методов / В.В. Кузина, А.Н. Кошев // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №7. – С. 106–112.
4. Кузина, В.В. Математические модели для автоматизированного контроля концентрации ионов металлов в промышленных стоках / В.В. Кузина, А.П. Замятин, А.Н. Кошев // Автоматизация и современные технологии. – 2008. – №11. – С. 38–43.

References

1. Pinjagin, B.A. Choice of the optimum sizes in hydrotechnical constructions for port / B.A. Pinjagin, A.N. Koshev [and others] // News of Higher Educational Institutions. Construction and architecture. 1986. – №6. – P. 77–79.
2. Koshev, A.N. Calculation of parameters of mathematical model of process of humidifying of textile half-finished products / A.N. Koshev, T.A. Glebova, A.I. Eremkin // Automation and modern technologies. – 2009. – №7. – P. 29–31.
3. Kuzina, V.V. Monitoring system of occurrence of possible technogenic regional water pollution based on mathematical models and methods / V.V. Kuzina, A.N. Koshev // News of Higher Educational Institutions. Construction. – 2008. – №7. – P. 106–112.
4. Kuzina, V.V. Mathematical models for the automated control of concentration of ions of metals in industrial drains / V.V. Kuzina, A.P. Zamjatin, A.N. Koshev // Automation and modern technologies. – 2008. – №11. – P. 38–43.

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

Хрусталеv Борис Борисович,
доктор экономических наук, профессор,
зав. кафедрой «Экономика, организация и
управление производством»
E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

Демьянова Валентина Серафимовна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Инженерная экология»
E-mail: ie@pguas.ru

Ганиев Марат Галемдянович,
аспирант кафедры «Экономика,
организация и управление производством»

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

Khrustalev Boris Borisovich,
Doctor of Economic Sciences,
Head of the department of «Economics,
organization and management of production»
E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

Demyanova Valentine Serafimovna,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Engineering Ecology»
E-mail: ie@pguas.ru

Ganiev Marat Galtmadyanovich,
Postgraduate of chair «Economics,
organization and management of production»

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА*

Б.Б. Хрусталеv, В.С. Демьянова, М.Г. Ганиев

Предложен новый подход к формированию стратегии развития предприятий строительного комплекса, основанный на системном подходе и позволяющий повысить эффективность ее разработки и реализации за счет сокращения времени разработки и ускорения отклика на возникающие в процессе реализации изменения.

Ключевые слова: строительный комплекс, стратегия, формирование стратегии развития.

FORMATION AN ENTERPRISE DEVELOPMENT STRATEGY FOR BUILDING COMPLEX BASED ON SYSTEM APPROACH

B.B. Hrustalev, V.S. Demyanova, M.G. Ganiev

The article presents a new approach to forming an enterprise development strategy of building complex based on system approach, it allows to increase the efficiency of strategy design and implementation by reducing time for development and the response to changes, which can take place.

Keywords: building complex, strategy, forming development strategy

В настоящее время существует множество определений стратегии, но общим для всех является понимание стратегии как продуманной и обоснованной совокупности правил и норм, лежащих в основе принятия решений, влияющих на будущую деятельность предприятия. При этом необходимо отметить, что процесс разработки стратегии не может быть сведен только к набору рутинных правил, методов и процедур, так как он требует от руководства и работников предприятия высокого профессионализма и творчества, интуиции и определенного философского подхода [1, с. 38].

Под стратегией предприятия будем понимать постоянно корректируемый комплекс взаимосвязанных мер, направленных на достижение целей участников процесса формирования стратегии и обеспечение эффективного функционирования и развития предприятия в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

* Исследование выполнено в рамках государственного контракта № 16.740.11.028 от 6 ноября 2010 г.

Современные условия экономики являются очень динамичными и трудно предсказуемыми, характеризуются достаточной неопределенностью и нестабильностью рынка. Особенно это характерно для строительного рынка. В таких условиях необходимость в наличии стратегии развития на предприятии строительного комплекса становится еще более очевидной, ведь именно стратегия развития является инструментом управления, который способен обеспечить «выживание» строительного предприятия в современных экономических условиях. Наличие четко выстроенной стратегии развития позволяет не только снизить негативное влияние, но и выйти на лидирующие позиции в своем сегменте.

Актуальность формирования стратегии развития для предприятий строительного комплекса обусловлена еще и тем, что именно строительство участвует в создании таких важных составляющих национального богатства, как основные фонды, а также в формировании характеристик социально-экономического развития страны: внутренний валовой продукт, обеспеченность населения жилой площадью, занятость, размер капитальных вложений и т.д. [1, с. 21].

На современном этапе развития стратегического управления разработка стратегии развития предприятия основывается главным образом на выборе из нескольких альтернативных вариантов стратегий. При этом каждый из рассматриваемых вариантов формируется сценарным методом либо на основе стандартных решений для хорошо рассмотренных ситуаций. Однако в условиях высокой неопределенности и нестабильности рынка необходим новый подход к формированию стратегии развития, который позволил бы снизить негативные эффекты от низкой степени вероятности наступления заложенных в основу сценария событий, особенно при продолжительных сроках планирования. В подобных условиях особое значение приобретает возможность оперативно реагировать на возникающие изменения во внешней среде и вносить соответствующие корректировки в стратегию развития.

Предлагаемый подход формирования стратегии развития призван решить данную проблему благодаря рассмотрению вопроса развития предприятия с точки зрения теории систем. Любое предприятие как систему можно охарактеризовать определенным набором показателей, которые будут оставаться неизменными в определенный момент времени. При этом данная система будет являться открытой и испытывать влияние как извне, так и изнутри.

При разработке и выборе стратегий развития предприятий строительного комплекса акцент может быть сделан на входные или выходные параметры экономической системы с учётом особенностей её горизонтального и вертикального развития [2]. При этом любая стратегия развития должна быть направлена на повышение эффективности работы этой системы и либо будет вызывать изменения в показателях системы (наиболее вероятный вариант), либо будет способствовать удержанию показателей на устойчивом уровне (развитие без расширения).

При описании строительного предприятия все множество показателей, характеризующих его, можно объединить в четыре укрупненные группы:

- продукт (параметры выпускаемой номенклатуры продукции или оказываемых услуг);
- управление (параметры системы управления предприятием, а также структуры функционирования);
- рынок (параметры внешних условий функционирования предприятия и места, занимаемого предприятием на рынке, то есть экономические и географические границы);
- финансы (параметры финансового и инвестиционного состояния предприятия).

Следовательно, в упрощенном виде любая стратегия развития должна быть направлена на улучшение одной из групп показателей. На практике стратегия всегда направлена на улучшение сразу нескольких групп показателей. Но на каждом относительно небольшом этапе стратегического развития предприятия будет преобладать то или иное направление (впрочем, возможно преобладание нескольких вариантов в равной степени).

В соответствии с этим можно выделить четыре базовых варианта стратегии развития строительного предприятия:

- инновационная (направленная на улучшение продукта);
- внутрифирменная (направленная на повышение эффективности управления);
- рыночная (направленная на изменение положения предприятия на рынке);
- инвестиционная (направленная на улучшение финансового и инвестиционного состояния предприятия).

Находясь в начальной ситуации (G_1), предприятие будет характеризоваться описанными выше четырьмя группами показателей, при этом по каждой группе можно вывести интегральный показатель: K_1 , K_2 , K_3 и K_4 соответственно.

При реализации стратегии развития, по завершении каждого этапа, предприятие будет переходить из начальной ситуации (G_1) в новую ситуацию (G_2), которая будет характеризоваться новыми значениями соответствующих групп показателей, и, как следствие, новыми значениями интегральных показателей K'_1, K'_2, K'_3, K'_4 . Помимо этого, подобный переход будет иметь соответствующие затраты ресурсов (R) и времени (T).

Введя интегральный показатель стратегического развития S_A , определяемый по формуле

$$S_A = f(K'_1 - K_1, K'_2 - K_2, K'_3 - K_3, K'_4 - K_4, R, T),$$

можем математически сравнивать различные варианты направлений развития на каждом конкретном этапе реализации стратегии.

Графически направления стратегического развития можно представить в виде матрицы, где по горизонтали отмечены четыре основных вида стратегий, по вертикали наименования этапов реализации стратегии, а на пересечении отмечается какой вид стратегии, реализуется на конкретном этапе (см. рисунок).



Матрица направлений стратегического развития предприятия

Аналогично на следующем этапе предприятие будет переходить в следующую ситуацию (G_3), которая будет характеризоваться новыми значениями соответствующих показателей.

Поскольку на каждом этапе производятся однотипные расчеты, основанные на одних и тех же показателях, для каждого отдельного предприятия возможна автоматизация данного процесса (создание универсального автоматизированного решения затруднено ввиду наличия индивидуальных особенностей функционирования строительных предприятий), что в значительной степени должно снизить время разработки стратегии.

Предложенный подход позволяет рассчитать наиболее эффективные направления развития для каждого этапа стратегии развития и всю схему стратегии развития предприятия в целом. При изменениях во внешней среде достаточно внести изменения в значения начальных условий соответствующего этапа и пересчитать оставшиеся с учетом возникших изменений. Это позволит, во-первых, сократить время разработки стратегии развития, во-вторых, повысить вероятность стратегических планов и в

третьих, оперативно вносить корректировки в стратегию развития предприятий строительного комплекса, что в целом будет способствовать повышению эффективности процесса формирования стратегии развития предприятий строительного комплекса.

Список литературы

1. Тютрина, М.А. Формирование стратегии развития предприятия на основе использования резервов внутренней и внешней среды: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / М.А. Тютрина. – Тюмень, 2002. – 189 с.
2. Хрусталёв, Б.Б. Формирование стратегии развития предприятий в зонах деятельности строительного комплекса Пензенской области / Б.Б. Хрусталёв, В.Н. Горбунов, И.В. Акифьев // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1. – С. 179–184.
3. Стратегии бизнеса: аналитический справочник / С.А. Айвазян, О.Я. Балкинд, М.Ю. Шерешева [и др.]; под ред. Г.Б. Клейнера. – М.: КОНСЭКО, 1998.

References

1. Tutrina, M.A. Development strategy based on a provision of internal and external environment: dis.... kand. econ. sciences: 08.00.05 / M.A. Tutrina. – Tumen, 2002. – 189 p.
2. Hrustalev, B.B. Formation of an enterprise development strategy in areas of the building complex of the Penza region / B.B. Hrustalev, V.N. Gorbunov, I.V. Akifev // Regional architecture and engineering. – 2011. – №1. – P. 179–184.
3. Business strategy: an analytical guide / S.A. Aivasyan, O.Y. Balkind, M.J. Sheresheva; edited by G.B. Kleyner. – M.: KONSEKO, 1998.

УДК 330.322

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,
заведующий кафедрой «Прикладная
математика и информатика»
Тел.: (841) 2496152
E-mail: kamburg@rambler.ru

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*
Украина, 61002, г. Харьков-2, ул. Фрунзе, 21

Питак Инна Вячеславовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Химическая техника
и промышленная экология»
E-mail: ipitak@rambler.ru

Моисеев Виктор Федорович,
кандидат технических наук,
профессор кафедры «Химическая техника
и промышленная экология»
Тел.: (057) 7076392

Питак Олег Ярославович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технология керамики,
огнеупоров, стекла и эмалей»
E-mail: ipitak@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

Kamburg Vladimir Grigoriyovich,
Doctor of Science, Professor, Head of the
Department «Applied Mathematics and
Computer Science»
Tel.: (841) 2496152
E-mail: kamburg@rambler.ru

*National Technical University «Kharkiv
Polytechnic Institute»*
Ukraine, 61002, Kharkiv-2, 21, Frunze St.

Pitak Inna Vyacheslavovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Chemical engineering and
industrial ecology»
E-mail: ipitak@rambler.ru

Moiseev Viktor Fedorovich,
Candidate of Sciences,
Professor of the department «Chemical
engineering and industrial ecology»
Tel.: (057) 7076392

Pitak Oleg Jaroslavovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Technology ceramic,
refractory, glass and enamels»
E-mail: ipitak@rambler.ru

УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО- СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ В ЖИЛИЩНОЙ СФЕРЕ

В.Г. Камбург, И.В. Питак, В.Ф. Моисеев, О.Я.Питак

Рассматриваются проблемы управления инвестиционно-строительным объектом в жилищной сфере. Особое внимание уделено факторам эффективности проекта, решениям по охране труда, противопожарной безопасности и охране окружающей среды.

Ключевые слова: управление, проект, строительство, денежные средства, проектировщик, подрядчик, заказчик

MANAGEMENT OF INVESTMENT CONSTRUCTION DESIGN IN HOUSING

V.G. Kamburg, I.V. Pitak, V.F. Moiseev, O.Ya. Pitak

The problems of managing the investment and construction projects in housing are discussed. Particular attention is paid to the factors of the project efficiency, decisions on labor safety, fire safety and environmental protection.

Keywords: management, project, building, money resources, designer contractor, customer.

Введение. Жилищная проблема является одной из самых острых социальных проблем больших городов. Значение жилищной сферы трудно недооценить для экономики страны. Основной задачей государственной жилищной политики является

создание необходимых условий для эффективной реализации возможностей граждан по улучшению своих жилищных условий, а также оказание содействия в обеспечении жильем тех категорий граждан, которые не могут этого сделать самостоятельно. Следовательно, как мы видим, вопросы регулирования рынка жилья, призванные решать жилищную проблему населения, являются актуальными для российского общества.

1. Сущность инвестиционно-строительного проекта и факторы, определяющие его эффективность. В инвестиционно-строительный проект вкладываются денежные средства с целью получения прибыли и/или прироста капитала от его реализации (постройка строительных объектов). Для успешной реализации проекта в строительстве существует множество факторов, в частности:

- Участники проекта и структура их взаимоотношений. Как правило, «активными» участниками проекта являются: инвестор, заказчик, проектировщик, подрядчик – этим исчерпывается круг привычных для отечественного специалиста участников проекта. В последние годы реалии рыночной экономики и методы управления проектами заставляют дополнить состав участников проекта новыми лицами. Это управляющая компания, консультанты, лицензиар (обладатель лицензий и «ноу-хау»), банк и другие «пассивные» участники проекта. Для успешной реализации проекта важно заранее идентифицировать потребности и ожидания всех влиятельных участников проекта. Сделать это не всегда просто, но необходимо, так как без эффективного управления потребностями и ожиданиями участников проекта рассчитывать на успешность проекта не приходится. Еще более важно правильно классифицировать участников проекта по группам интереса и силовым полям. Часто возникают ситуации, когда интересы группы пересекаются или противоречат друг другу. Для руководителя проекта важно при этом находить компромиссы между всеми участниками проекта. Но в любом компромиссе необходимо осознавать приоритет интересов заказчика над всеми остальными интересами и ожиданиями.

- Созданная организационная структура управления проектом. Выбор и разработка организационной структуры – это сложная, слабоформализуемая задача. Тем не менее существует общая совокупность проблем, успешное разрешение которых приводит к созданию эффективной организационной структуры проекта, соответствующей его содержанию, системе взаимоотношений участников проекта и требованиям внешнего окружения. От этого зависит ход реализации проекта.

- подбор команды проекта;
- правильно выполненная структуризация проекта;
- техническое совершенство нового объекта;
- соответствие современным подходам;
- продолжительность от инвестиционной идеи до сдачи объекта в эксплуатацию;
- общий управленческий и производственный опыт;
- профессиональные знания исполнителя проекта;
- техническая квалификация исполнителя;
- степень ответственности при руководстве аналогичной деятельностью в прошлом и т.д.

Для компании, которая намерена выполнить инвестиционно-строительный проект, всегда возникает первоочередной вопрос: нанять собственного руководителя проекта и команду или воспользоваться услугами управляющей компании? Если компания намерена инвестировать средства в повторяемые объекты (например жилые дома или кирпичные заводы и т.д.) и заниматься этим постоянно, то целесообразным решением представляется найм собственного руководителя, создание соответствующих служб и структур, получение лицензий.

Но если компания намерена инвестировать средства в разовый проект, который будет характеризоваться неповторимостью условий его выполнения (это может быть любой строительный объект – от крупного производственного комплекса до

загородного дома), при этом реализация проекта будет ограничена жесткими временными рамками и потребует использования эффективной структуры управления, то однозначно нужно воспользоваться услугами управляющей компании.

В целом, ответ на этот вопрос зависит от множества факторов и требует индивидуального подхода в каждом конкретном случае. Во многом успех реализации проекта определяется рядом процедурных факторов. Это взаимоотношение управляющей компании (или собственного руководителя проекта) с инвестирующей компанией (заказчиком). Процедурные факторы главным образом касаются контроля за ходом реализации проекта, отбора команды проекта и обеспечения ее самостоятельности в принятии решений, а также системы материального поощрения и процессов финансирования проекта. И вот здесь, если сравнивать управляющую фирму и собственного руководителя проекта, то, как правило, собственный руководитель проекта подпадает под жесткий корпоративный контроль, не обладает достаточной степенью самостоятельности в принятии решений, вынужден согласовывать каждое свое движение, что в большинстве случаев является губительным для всего проекта.

Управляющая фирма же является более дистанцированной и самостоятельной в отношениях с заказчиком. Основным критерием работы менеджеров управляющей фирмы является инициативность, которая становится важнее исполнительности; целевой ориентир – работа для заказчика, а не для начальника. В этом смысле управляющая фирма по своей природе имеет явное преимущество перед собственным руководителем проекта.

Кроме того, существует важный структурный фактор, который дает преимущество управляющей фирме, – это организационная независимость. Для сотрудников управляющей компании эффективной мотивацией может быть работа в независимых от заказчика организационных условиях, что позволяет им принимать многие решения быстро и самостоятельно, стимулирует инициативу. При этом эффективность продвижения проекта возрастает, что в итоге оптимально и для проекта, и для заказчика.

Что касается факторов, относящихся непосредственно к создаваемому объекту (это техническое совершенство нового объекта, соответствие современным подходам, продолжительность от инвестиционной идеи до сдачи объекта в эксплуатацию), то для малых проектов и собственный руководитель, и управляющая фирма в принципе обладают равными возможностями. Для больших проектов управляющая фирма имеет явное преимущество прежде всего за счет своих ресурсов: систем коммуникации и информационных технологий.

Если сравнить факторы, характеризующие опыт проект-менеджера и управляющей компании (это общий управленческий и производственный опыт, профессиональные знания, техническая квалификация, степень ответственности при руководстве аналогичной деятельностью в прошлом), то здесь необходим индивидуальный подход в каждом конкретном случае.

В нашем представлении, управляющая компания – это более высокий уровень, более эффективный инструмент для создания проектов недвижимости. Как правило, у управляющей компании накоплен богатый опыт участия в различных проектах, она имеет профессионалов в области управления проектами.

Какова разница в цене при этих двух подходах? Это зависит от задач, целей и приоритетов, на которые ориентируется заказчик при выполнении проекта и которые он ставит перед менеджером проекта или управляющей компанией. Есть случаи, при которых заказчик устанавливает следующий приоритет: «время дороже денег», или «качество принятых проектных решений, применяемых технологий и выполненных работ прежде всего», или «только самые дешевые материалы и рабочая сила» и т.д.

Существуют также определенные опасения: не опасно ли для фирмы поручать свой проект управляющей компании, которая, возможно, в то же время ведет проект конкурентов? Некоторые эксперты полагают, что в инвестиционно-строительных проектах это даже полезно. Чем больше у управляющей компании практического опыта участия в различных проектах, тем выше эффективность и надежность в управлении данным проектом. Другое дело, если управляющая компания участвует в

венчурном или инновационном проекте. В этом случае вопросы защиты информации должны решаться в особом порядке.

Несомненно, вопросы управления проектами по созданию недвижимости требуют более глубокого и детального рассмотрения в иной плоскости: на основе каких факторов и как заказчику или инвестору выбрать наиболее оптимальную, сбалансированную и эффективную организационную структуру управления проектом? Как выбрать менеджера проекта или управляющую компанию для реализации проекта? Чем при этом руководствоваться? Кто проведет консультации по этому вопросу?

Управляющая компания и проект-менеджер должны обладать профессиональными знаниями по алгоритму необходимых шагов при создании для заказчика эффективной организационной структуры. Только они, или один из них, могут квалифицированно консультировать заказчика по этим вопросам. Специалисты компаний исполнителя проекта обязательно имеют высшее строительное образование, опыт работы на строительных объектах (начиная от работы мастера, прораба, инженерного работника, главного инженера строительного подразделения и т.д.), а также образование по дисциплине «Управление проектами», что помогает понять природу всех процессов на протяжении жизненного цикла проекта, а именно методологию организации, планирования проекта, руководства его выполнением, координации ресурсов.

2. Решения по охране труда и противопожарной безопасности проекта. Экологические решения проекта. В соответствии со СНиП III-4-80 «Техника безопасности в строительстве» должны своевременно проводиться инструктаж, а также проверка знаний рабочих и технического персонала в области техники безопасности с обязательным документальным оформлением.

Вновь поступившие на строительство сотрудники могут быть допущены к выполнению заданий после прохождения вводного инструктажа по технике безопасности и инструктажа непосредственно на рабочем месте. Кроме того, в течение не более 3 месяцев со дня поступления на работу они должны пройти обучение безопасным методам труда по утвержденной программе. Инструктаж по технике безопасности должен проводиться при переводе на новую работу, а также при изменении условий труда. К работе на особо опасных и вредных производствах (монтаж конструкций на высоте, огнеупорные, кислотоупорные и изоляционные работы, процессы с применением радиоактивных веществ и т.д.) рабочие могут быть допущены лишь после соответствующего обучения и сдачи экзамена.

Работающим в опасных и вредных условиях необходимо выдавать индивидуальные защитные средства, предупреждающие возможность возникновения несчастных случаев.

Проект предполагает обеспечение высокого качества применяемых материалов, изделий, конструкций, строительных машин и механизмов, эффективную звуковую или световую сигнализацию. Используемые строительные устройства и монтажная оснастка должны отвечать всем требованиям техники безопасности. Необходимо организовать систематический и строгий контроль за соблюдением правил техники безопасности, предусмотреть ограждения, сигнальные знаки и освещение объекта.

Противопожарная безопасность. На строительной площадке следует обеспечить правильное складирование материалов и изделий с тем, чтобы предотвратить возгорание легковоспламеняющихся и горючих материалов, ограждать места производства сварочных работ, своевременно убирать строительный мусор, разрешать курение только в строго отведенных местах, содержать в постоянной готовности все средства пожаротушения (линии водопровода с гидрантами, огнетушители, сигнализационные устройства, пожарный инвентарь).

В первой степени контроля будут участвовать бригадир, мастер и общественный инспектор по охране труда бригады. Ежедневно перед началом смены ими будут проверяться обеспеченность безопасного ведения строительно-монтажных работ и соблюдение санитарно-гигиенических условий труда. Особое внимание должно уделяться организации работ с повышенной опасностью.

Во второй ступени, проводимой раз в неделю, участвуют начальник участка и председатель комиссии по охране труда, механик и электромонтер, которые осуществляют проверку:

- состояния техники безопасности и производственной санитарии; результатов работы первой ступени; выполнения проекта производства работ;
- исправности и безопасности используемых машин, механизмов, энергетических установок и транспортных средств; своевременности выдачи спецодежды и защитных приспособлений; выполнения обязательств по охране труда, предложений и замечаний, записанных в журнал проверок на первой ступени. Все выявленные нарушения и отступления должны быть зарегистрированы в журнале.

В третьей ступени, проводимой раз в месяц, участвуют главный инженер, главный механик, главный энергетик и инженер по технике безопасности. В их компетенции будет проверка:

- выполнения запланированных мероприятий, постановлений и приказов по обеспечению безопасных условий труда и быта;
- правильности регистрации и отчетности по несчастным случаям;
- соблюдения установленных сроков и организации проведения периодических испытаний индивидуальных средств защиты, приспособлений и других устройств; результатов работы первой и второй ступеней.

Результаты проверки обсуждаются на совещании. Принятые решения оформляются в виде приказа.

Охрана окружающей природной среды. Не должно допускаться сжигания на строительной площадке отходов и остатков материалов, интенсивно загрязняющих воздух. Сбрасывание с этажей здания отходов и мусора возможно только с применением бункеров-накопителей. Для предотвращения загрязнения поверхностных и надземных вод необходимо улавливать загрязненную воду. Все производственные и бытовые стоки должны быть очищены и обезврежены.

Не допускается выпуск воды со строительной площадки непосредственно на склоны без надлежащей защиты от размыва. На территории площадки не должно быть не предусмотренных проектной документацией вырубок древесно-кустарниковой растительности и засыпки грунтом корневых шеек и стволов растущих деревьев, кустарников.

3. Организационная структура управления проектом. Управление рисками и изменениями, контроль и мониторинг проекта. В процессе реализации проекта строительства (например, ЖКК «Перекрёсток») ставится задача радикально повысить эффективность организации и управления проектом; интенсивно использовать объем накопленных участниками проекта профессиональных знаний и умений; обеспечить интеграцию и координацию выполняемых работ.

Заказчиком может быть выбрана «основная» система управления проектом – это, когда руководитель (менеджер) проекта является представителем заказчика, но финансовой ответственности за принимаемые решения не несет. В этом случае менеджер проекта отвечает за координацию и управление ходом разработки и реализации проекта. Очень важно, чтобы менеджер проекта не состоял в контрактных отношениях с другими участниками проекта (кроме заказчика). Преимущество такого подхода – объективность менеджера, недостаток – риск за судьбу проекта лежит на заказчике.

При реализации представленной в п.1 организационной структуры управления проектом работа над проектом не может быть эффективной. Все нити от участников проекта вели к проект-менеджеру. Понятно, что подрядные организации занимали пассивную позицию, направленную на реализацию своих узких задач (выполнить по контракту свои работы и уйти с объекта). Эффективное продвижение в целом всего проекта подрядчиков не интересует. Поэтому, как правило, на стыках работ, выполняемых разными участниками, может возникать много вопросов (технических, технологических, организационных и т.д.), которые должен решать проект-менеджер.

Реализация любого проекта происходит, как правило, в условиях наличия той или иной меры неопределенности и рисков. Управление рисками – новое для нашей экономики явление. Поэтому в стадии реализации конкретного проекта менеджер может применять самые элементарные методы снижения рисков. Для защиты от риска роста капитальных затрат предполагается использовать гибкие подходы при заключении с исполнителями контрактов и внесении дополнений к ним. В отдельных случаях с исполнителями могут заключаться контракты по фиксированным ценам, в других случаях – с возмещением издержек или с изменением цены за единицу объема. Это позволит заказчику не понести дополнительных затрат.

В ряде случаев проект-менеджер может использовать метод передачи риска исполнителю. При заключении контракта ответственность за все процедуры, связанные с реализацией проекта (привлечение экспертов, технология выполнения, гарантии), передается исполнителю.

Особое место при выполнении проекта занимают вопросы управления изменениями (хотя предполагается, что удельный вес вносимых изменений будет невысок). Для общего контроля изменений проект-менеджер может использовать набор формальных процедур, которые определяют регламент внесения изменений в ранее принятые официальные документы проекта и порядок их утверждения. В достаточном объеме этот процесс будет проходить через пять основных стадий:

- обсуждение;
- оценка;
- одобрение (принятое решение документируется);
- реализация;
- подтверждение исполнения.

При выполнении конкретного проекта проект-менеджер должен контролировать три основные комплексные характеристики: время, объем работ и стоимость. Менеджером должен вестись постоянный мониторинг проекта:

- контроль;
- слежение за выполненными работами;
- учет;
- анализ;
- составление отчетов о фактическом выполнении проекта в сравнении с планом.

Подрядчик и исполнители с периодичностью в две недели обязаны составлять и утверждать у проект-менеджера отчеты установленного образца, а менеджер – производить анализ полученных данных, оценивать состояние работ по проекту относительно пороговой даты, производить оценку фактических затрат, оценку оставшегося объема работ. Процессы контроля выполнения проекта можно подразделить на следующие этапы:

- общий контроль изменений по проекту;
- ведение отчетности по проекту (отчеты о выполненных работах, прогноз с учетом имеющихся результатов);
- контроль за изменением содержания проекта;
- контроль за изменением сроков выполнения пунктов проекта;
- контроль затрат по работам;
- контроль качества;
- контроль риска – реагирование на изменение уровня риска в ходе реализации проекта.

Фактическое выполнение работ подрядчиками должно контролироваться с помощью метода детального контроля, предусматривающего промежуточные оценки состояния процесса реализации проекта. Данный метод требует от менеджера определять процент завершенности находящихся в процессе выполнения работ в каждом отчете подрядчиков. Для этого с каждым из подрядчиков менеджер утверждает график выполнения работ с разбивкой в процентном отношении каждой из укрупненных работ в соответствии с их плановой стоимостью. Такой же порядок отра-

жения выполненных работ должен быть предусмотрен в отчетах подрядчиков. Этот подход принят потому, что, как правило, плановая стоимость укрупненной работы является достаточно надежным показателем значимости всего объема работ.

Используя метод детального контроля, необходимо разработать интегрированную систему контроля, которая позволит сосредоточить внимание на степени завершенности работ, а не только на временных и объемных параметрах проекта, а также явится критерием обоснования финансирования. Такой подход позволит производить финансирование подрядчиков и участников проекта плавно, корректно, без рывков и скачков. Это очень важно и для заказчика, и для подрядчика. Подрядчик сможет получать обоснованное и необходимое количество финансовых средств в ходе реализации проекта, а заказчик – эффективно их использовать.

Выводы. Выделенные и проанализированные факторы, определяющие эффективность инвестиционно-строительного проекта, рекомендуемые решения по охране труда и его противопожарной безопасности, экологические решения проекта, предложенная организационная структура управления проектом, в том числе управления рисками и изменениями в виде контроля и мониторинга проекта, помогут вывести строительство и рынок жилья на новый уровень решения жилищной проблемы, остро стоящей в настоящее время.

Список литературы

1. Гринев, В.П. Правовое регулирование градостроительной деятельности / В.П. Гринев. – М.: ГроссМедиа, 2006.
2. Москвин-Тарханов, М.И. Правовое регулирование градостроительной деятельности / М.И. Москвин-Тарханов // Недвижимость и инвестиции. Правовое регулирование. – 2004. – №2(19).
3. Правовое регулирование строительной деятельности. – Режим доступа: <http://lib.4i5.ru/cu347.htm>.
4. Римшин, В.И. Основы правового регулирования градостроительной деятельности: учебное пособие для строительных вузов / В.И. Римшин. – М.: Высшая школа, 2006.

References

1. Grinyov, V.P. Legal regulation of urban development / V.P. Grinyov. – M.: GrossMedia, 2006. – 448 pp.
2. Moskvina-Tarkhanov, M.I. Legal regulation of urban planning / M.I. Moskvina-Tarkhanov // Real estate and investments. Legal regulation. – 2004. – № 2 (19).
3. Legal regulation of construction activities. – Mode of access: <http://lib.4i5.ru/cu347.htm>
4. Rimshin, V.I. Basis of the legal regulation of urban planning: a manual for building schools / V.I. Rimshin. – M.: Higher School, 2006.

УДК: 332.14:721.021.26

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, д. 1,
тел.: (8442) 96-99-78; факс: (8442) 96-99-78

Максимчук Ольга Викторовна,
доктор экономических наук, профессор
кафедры «Экономика и управление
проектами в строительстве»

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

Попова Инна Викторовна,
кандидат экономических наук, доцент
кафедры «Экспертиза и управление
недвижимостью»

E-mail: invikt2006@rambler.ru

Пензенский государственный педагогический университет им В.Г. Белинского

Россия, 440026, г. Пенза,
ул. Лермонтова, 37,
тел. (8-412) 54-83-62; факс: (8-412) 56-25-66

Ткаченко Инна Владимировна,
аспирант

Volgograd State University of Architecture and Building

Russia, 400074, Volgograd, 1,
Akademicheskaya St.,
tel.: (8442) 96-99-78; fax: (8442) 96-99-78

Maksymchuk Olga Viktorovna,
doctor of Economic Science, Professor of the
department «Economics and Project
Management in Construction»

Penza State University of Architecture and Construction

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

Popova Inna Viktorovna,
Candidate of Economic Science, Associate
professor of the department «Expertise and
management of Real Estate»

E-mail: invikt2006@rambler.ru

Penza State Pedagogical University named by V.G. Belinsky

Russia, 440026, Penza, 37, Lermontova St.,
tel. (8-412) 54-83-62; факс: (8-412) 56-25-66

Tkachenko Inna Vladimirovna,
Postgraduate

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ МАЛОЭТАЖНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

О.В. Максимчук, И.В. Ткаченко, И.В. Попова

Статья посвящена разработке концепции региональной политики малоэтажного жилищного строительства. Описаны условия проведения политики малоэтажного жилищного строительства в регионе, предпосылки формирования жилищной политики субъекта Федерации. Приведены основные слагаемые механизма реализации государственной жилищной политики. Рассмотрена структура регионального кластера малоэтажного жилищного строительства как основы формирования и реализации политики малоэтажного жилищного строительства в регионе.

Ключевые слова: малоэтажное жилищное строительство, региональная политика жилищного строительства.

WORKING OUT THE CONCEPT OF THE REGIONAL POLICY OF LOW HOUSING CONSTRUCTION

O.V. Maksymchuk, I.V. Tkachenko, I.V. Popova

The article is devoted to the development of a concept of regional policy of low housing construction. Some conditions of carrying out the policy of low housing construction in the region, preconditions of formation the housing policy in the Federation subject are described. The main compounds of the state housing policy realization mechanism are given. Besides the structure of low housing construction regional cluster is given, it is the basis of the policy of low housing construction formation and realization.

Keywords: low-rise housing, regional housing policy.

Ввиду того, что сегодня малоэтажное жилищное строительство (МЖС) становится значимым механизмом решения жилищной проблемы в России, которая затрагивает интересы большей части общества, необходимо серьезно переработать и принять его новую концепцию, которая ляжет в основу государственной политики, направленной на законодательное и организационное регулирование малоэтажного строительства, а также определит техническую политику государства.

Цель политики малоэтажного жилищного строительства – создание условий для улучшения жилья населения субъекта Федерации. В этой связи основным экономическим эффектом от реализации жилищной политики будет совокупность финансовых эквивалентов от следующих обстоятельств: снижения затрат на текущие и капитальные ремонты жилья и коммунальных сетей; повышения качества жилья населения; улучшения демографической ситуации за счет увеличения жилой площади и перераспределения затрат населения на потребление и инвестиции.

Одна из задач *политики МЖС* – повышение бюджетной эффективности субъекта Федерации – предусматривает положительное изменение регионального бюджетного сальдо. То есть экономическая политика должна привести либо к росту доходов, либо к снижению расходов регионального бюджета.

Основными условиями проведения разумной и привлекательной для субъектов политики МЖС являются следующие:

- доступная и полная информация об объектах строительства;
- установленная и прописанная процедура получения прав на жилье;
- критерии определения победителей в случае тендеров за право строительства;
- принятый механизм оценки стоимости прав на строительство;
- государственный институт регистрации прав;
- государственные меры стимулирования и поддержки участников экономического механизма жилищной политики.

При наличии экономического механизма появляются предпосылки для формулирования конкретных социально-экономических задач жилищной политики субъекта Федерации, направленных на поддержание его высокого экономического потенциала:

- повышение общей экономической привлекательности субъекта Федерации за счет формирования социально активного квалифицированного персонала;
- формирование новых источников налоговых и рентных платежей за счет сдачи в аренду жилья и земельных участков под строительство;
- создание новых рабочих мест не только в строительстве, но и в других наиболее динамичных отраслях региональной экономики;
- развитие инфраструктуры субъекта Федерации;
- восстановление исторических объектов на территории субъекта Федерации за счет средств, полученных в качестве экономического эффекта от реализации политики МЖС;
- поддержание благоприятного экономического климата субъекта Федерации;
- создание условий для развития малых бизнесов на базе объектов недвижимости (прачечные, химчистки, парикмахерские, аптеки и т.п.).

Основные слагаемые механизма реализации государственной жилищной политики:

- создание экономических, правовых, нормативно-технических и других условий для увеличения жилищного фонда страны за счёт диверсификации типологии объектов недвижимости;
- замещение аварийного и ветхого жилищного фонда пригородных, сельских территорий, исторической застройки и городских земель, непригодных для нужд высотного строительства;
- развитие региональной типологии МЖС;
- использование объектов нежилой недвижимости различного назначения (офисные помещения, предприятия малого бизнеса и др.) в МЖС межселенной зоны в контексте новых градостроительных решений в качестве маневренного, временного жилищного фонда.

Потенциал, которым располагает регион для реализации политики МЖС: природно-ресурсный; экономико-географический; производственный; инфраструктурный; демографический; трудовой; научно-инновационный; бюджетный; административный.

Разрабатываемая региональная политика МЖС должна базироваться на Концепции социально-экономического развития региона с учетом выявленного на основе анализа его

потенциала. Рекомендуется в основу формирования политики МЖС положить социальную концепцию (см. таблицу).

Предпосылки формирования политики МЖС в регионе

ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	МАЛОЭТАЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
1. Наличие в регионе конкурентоспособных предприятий	
Крупные производители «традиционных» строительных материалов Производители современных материалов Инвестиционные проекты по модернизации действующих производств и созданию новых	Крупные строительные организации Вспомогательные малые строительные организации Проекты комплексного освоения территорий и системной малоэтажной застройки
2. Наличие конкурентных преимуществ в регионе	
Доступное сырье Наличие платежеспособного спроса Наличие специализированной организации – проводника технологий (технопарки) Наличие необходимой инфраструктуры	Наличие поставщиков комплектующих Доступ к рекреационным ресурсам Наличие производителей строительных материалов Наличие необходимой инфраструктуры Наличие связей и опыта сотрудничества с зарубежными партнерами
3. Географическая концентрация и близость	
Ключевые участники кластеров находятся в географической близости друг к другу и имеют возможности для активного взаимодействия на единой территории Постепенное слияние крупных городов в единую агломерацию, в том числе за счет процессов развития пригородов	
4. Наличие связей и взаимодействие между участниками кластеров	
Наличие рабочих связей и координации усилий между участниками кластера Специализированные СМИ (печатные издания, интернет-порталы, медийные проекты) Наличие совместных проектов	

Социальная концепция базируется на приоритете человеческого фактора и направлена на повышение уровня и качества жизни населения на основе экономического роста региона.

Принципиальное отличие социальной концепции от традиционной заключается в примате социальных и материальных потребностей человека над производственными, постановке стратегических целей и оценке степени их достижения с позиций критериев качества жизни населения.

Стратегическая цель управления уровнем и качеством жизни определяется как обеспечение всестороннего развития личности на основе повышения уровня образования, культуры, здравоохранения, условий труда, социальной защищенности и внедрения принципов социальной справедливости.

Учитывая сложность и многообразие проблем достижения высокого уровня и качества жизни населения, необходимо четко обосновать их приоритеты для каждого этапа развития, разработать механизмы и инструменты реализации принимаемых решений. Ранжирование последовательности решения данных проблем в значительной мере зависит от того, насколько динамично будет развиваться экономика, какие факторы экономического роста на соответствующем этапе развития будут определяющими (рис. 1).

Сформировавшиеся в регионе предпосылки определяют базовые возможности для реализации политики МЖС, однако, для того чтобы определить ее конкретные направления и проблемы, необходимо более детально рассмотреть факторные условия развития регионального кластера малоэтажного строительства.

Региональный кластер МЖС – сконцентрированные по географическому признаку группы взаимосвязанных в строительной отрасли компаний, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, фирм, а также связанных с их деятельностью организаций в области малоэтажного жилищного строительства, конкурирующих, но вместе с тем ведущих совместную работу.

Формирующийся в регионе кластер МЖС необходимо рассматривать как единую систему увеличения добавленной стоимости в части производства строительных материалов и повышения качества и доступности жилья.



Рис. 1. Факторные условия развития МЖС в регионе

Цель развития кластера МЖС в регионе – обеспечение плана ввода 50 % жилья за счет малоэтажного строительства, отвечающего современным требованиям по технологическим, стоимостным и эстетическим характеристикам.

Достижение цели планируется осуществить за счет усиления конкурентных преимуществ отрасли малоэтажного строительства и производства строительных материалов посредством внедрения системы внутри- и межотраслевого взаимодействия, повышения объема межотраслевой информации и коммуникации, стимулирования спроса.

Подробная структура кластера представлена на рис. 2.

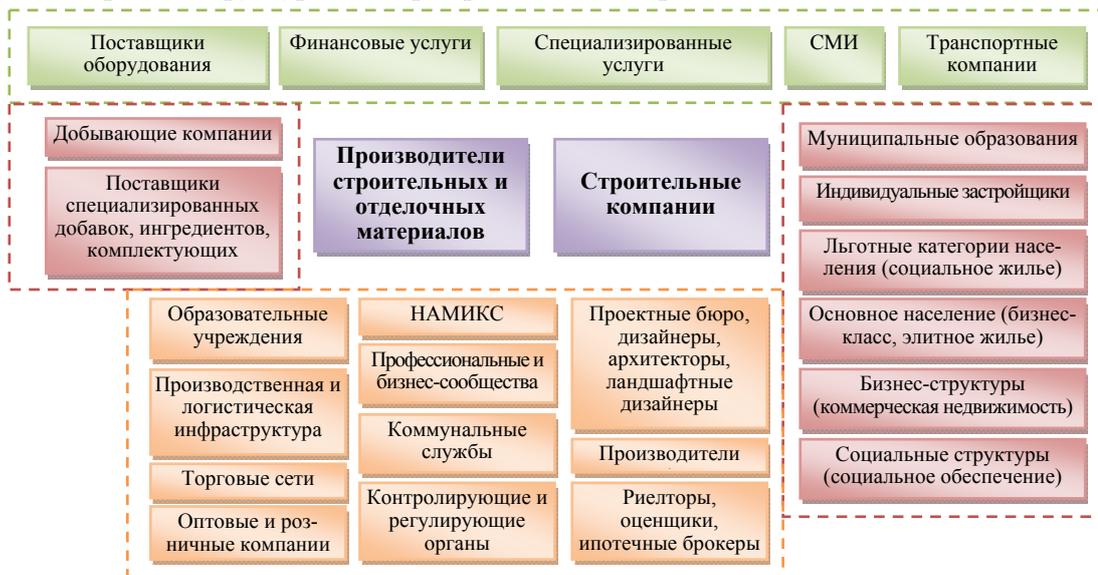


Рис. 2. Структура регионального кластера МЖС в регионе

Таким образом, для формирования и реализации политики МЖС в регионе предлагается создать кластер МЖС, который будет включать в себя организации-застройщиков МЖС, предприятия по производству строительных материалов для строительства малоэтажного жилья, индивидуальных застройщиков малоэтажного жилья. Успех создания кластера напрямую зависит от проводимой в регионе кластерной политики. Отправной точкой реализации региональной кластерной политики должен стать комплекс разработанных мероприятий для прохождения этапов становления и развития кластера.

Внедрение предлагаемой концепции региональной политики малоэтажного жилищного строительства позволит увеличить объемы малоэтажного строительства, тем самым решить жилищные проблемы региона, снизить затраты на ремонт жилья и коммунальных сетей, повысить качество жилья населения, улучшить демографическую ситуацию.

Пензенский государственный университет
Россия, Пенза, ул. Красная, д. 40,
тел.: (8412) 56 35 11

Кошевой Олег Сергеевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Государственное управление
и социология региона»
E-mail: Olla@penzadom.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

Глебова Татьяна Александровна,
доцент кафедры «Информационные
системы и компьютерное моделирование»
Тел.: (+7)9270965903
E-mail: tan.1952@mail.ru

Чиркина Марина Александровна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Информационные системы
и компьютерное моделирование»
E-mail: Chm-77@mail.ru

Penza State University
Russia, Penza, 40, Krasnaya St.,
тел.: (8412) 56 35 11

Koshevoy Oleg Sergeevich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Public administration and
sociology of region»
E-mail: Olla@penzadom.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

Glebova Tatjana Alexandrovna,
Associate professor of the
department «Information Systems and
Computer Modeling»
Tel.: (+7)9270965903
E-mail: tan.1952@mail.ru

Chirkina Marina Aleksandrovna,
Candidate of Science, Associate professor of
the department «Information Systems and
Computer Modeling»
E-mail: Chm-77@mail.ru

ДИАГНОСТИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕДУШЕВЫХ ДЕНЕЖНЫХ ДОХОДОВ НАСЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА

О.С. Кошевой, Т.А. Глебова, М.А. Чиркина

Для прогнозирования концентрации среднедушевых доходов использован подход, основанный на расчете энтропийных показателей исследуемой системы. На основе расчетов выполнен краткосрочный прогноз концентрации распределения среднедушевых доходов населения по Пензенской и Ульяновской областям и в целом по Российской Федерации.

Ключевые слова: энтропия, энтропийный подход, денежные доходы, распределение денежных доходов, показатель концентрации.

DIAGNOSTICS OF INDICATORS SHOWING CONCENTRATION OF PER CAPITA MONETARY INCOMES DISTRIBUTION OF THE POPULATION ON A BASIS THE ENTROPIC APPROACH

O.S. Koshevoy, T.A. Glebova, M.A. Chirkina

To forecast average per capita monetary income concentration the authors have used a method based on the calculation of entropic indicators of the researched system. On the basis of these calculations a short-term forecast of average per capita income distribution concentration of the population in Penza and Ulyanovsk regions and the whole RF has been made.

Keywords: entropy, entropy approach, monetary income, distribution of the monetary income, concentration indicator.

В настоящее время при исследовании социально-экономических систем, особенно при их диагностике, все большее применение находит подход, основанный на расчете энтропийных показателей анализируемых процессов [1,2]. К основным достоинствам данного подхода относится отсутствие жестких ограничений на закон распределения исследуемых величин и возможность формирования выводов на основе малых выборок.

Целью данной работы является исследование возможности применения энтропийного подхода к анализу распределения среднедушевых доходов населения по коэффициенту Джини, являющегося наиболее информативным при исследовании степени неравномерности распределения среднедушевых доходов.

Используется эмпирическая база, приведенная в таблице [3].

Значения коэффициента Джини по годам

Года	Пензенская область	РФ	Ульяновская область
1995	0,289	0,387	0,315
1996	0,307	0,387	0,352
1997	0,325	0,39	0,356
1998	0,313	0,394	0,349
1999	0,334	0,4	0,328
2000	0,312	0,395	0,357
2001	0,316	0,397	0,352
2002	0,322	0,397	0,369
2003	0,325	0,402	0,364
2004	0,327	0,408	0,365
2005	0,339	0,409	0,373
2006	0,349	0,416	0,382
2007	0,372	0,423	0,39
2008	0,379	0,423	0,392
2009	0,382	0,421	0,393
2010	0,379	0,42	0,393

Методика расчета энтропийных показателей включает:

1. Расчет энтропийного коэффициента k_e , характеризующего дестабилизирующие свойства закона распределения исследуемого показателя, неопределенность в предсказуемости его значений

$$k_e = \frac{wN}{2\sigma} 10^{-\frac{1}{N} \sum_{i=1}^m n_i \lg(n_i)}, \quad (1)$$

где w – размер интервала группировки, определяемый по формуле

$$w = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m}, \quad (2)$$

здесь $x_{\max}; x_{\min}$ – наибольшее (наименьшее) значение коэффициента Джини в соответствующем ряду динамики; m – число интервалов группировки $m = \sqrt{N}$, N – число временных периодов для исследуемых рядов; σ – среднее квадратическое отклонение для выборки; n_i – число измерений, попавших в i -й интервал группировки.

В зависимости от вида закона распределения исследуемого параметра значение энтропийного коэффициента находится в пределах $0 \leq k_e \leq 2,066$. При нормальном законе распределения среднедушевых доходов населения значение энтропийного коэффициента $k_e = 2,066$. Нормальный закон распределения характеризуется «наихудшей предсказуемостью» проявлений тех или иных значений среднедушевых доходов населения относительно других законов распределения [4].

2. Расчет энтропийного потенциала Δ_e

$$\Delta_e = k_e \sigma, \quad (3)$$

характеризующего величину отклонения истинного закона распределения исследуемого параметра от равномерного закона распределения.

Размерность энтропийного потенциала Δ_e совпадает с размерностью исследуемого параметра и однозначно выражается через его энтропию. Увеличение Δ_e свидетельствует о возрастании уровня состояния неопределенности исследуемого параметра, и наоборот.

3. Расчет комплексного энтропийного потенциала L_Δ

$$L_\Delta = \frac{\Delta_e}{\mu}, \quad (4)$$

где μ – средняя арифметическая по соответствующему ряду динамики.

Комплексный энтропийный потенциал L_Δ является безразмерным, что позволяет использовать его в качестве критерия энтропийного подобия при сравнении состояний неопределенности различных систем.

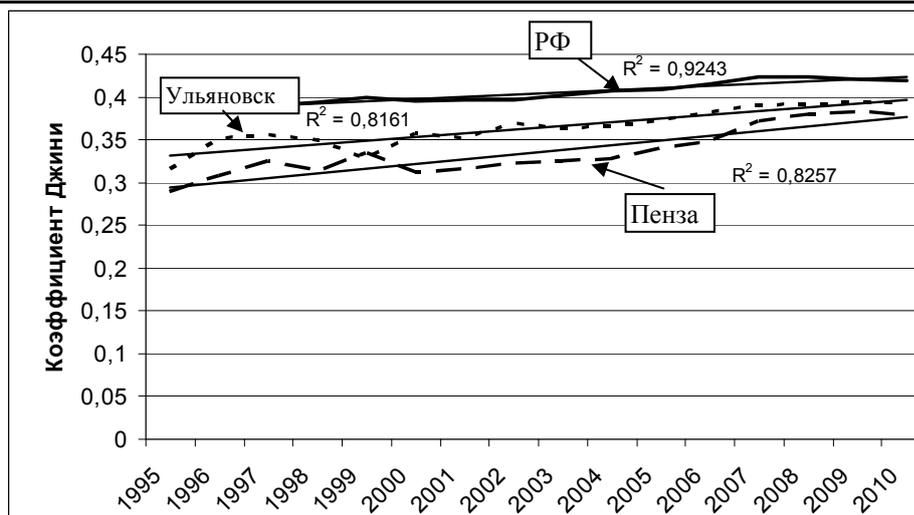
В результате расчета установлено, что энтропийный коэффициент, энтропийный потенциал и комплексный энтропийный потенциал соответственно равны: для Пензенской области – 1,459; 0,042; 0,125; для Российской Федерации – 0,938; 0,012; 0,030; для Ульяновской области – 1,112; 0,026; 0,070.

Анализ расчетов показывает, что за исследуемый временной период неравенство в распределении среднедушевых доходов населения менее всего наблюдается по РФ в целом, о чем свидетельствуют значения всех трех энтропийных показателей. Наибольшее неравенство наблюдается в Пензенской области. Однако неравенство может проявляться в воздействиях на систему в направлении снижения неравномерности распределения доходов, что представляет собой положительный момент в деятельности органов власти.

Для определения тенденции изменения рассматриваемого показателя в работе выполнен анализ рядов динамики исследуемого показателя (см. рисунок). На основании анализа установлено, что по абсолютному значению коэффициент Джини в целом по РФ существенно превышает показатели по Пензенской и Ульяновской областям, что характеризует более неравномерное распределение среднедушевых доходов в целом по РФ. При этом тенденция увеличения коэффициента Джини по РФ четко описывается линейным трендом с достаточно высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,924$). Для Пензенской и Ульяновской областей линейный тренд менее выражен, соответственно ($R^2 = 0,826$ и $R^2 = 0,816$). Однако наблюдается четкая тенденция к увеличению коэффициента Джини и приближения его к общероссийскому.

Для более детального исследования изменения энтропийных показателей, и более достоверного определения тенденции исследуемый ряд был разбит на две половины и выполнены расчеты энтропийных показателей. В результате расчета установлено, что для Пензенской области для временного периода с 1995 по 2002 г. энтропийный коэффициент – 1,47898, энтропийный потенциал – 0,01987 и комплексный энтропийный потенциал – 0,06313; для временного периода с 2003 по 2010 г. энтропийный коэффициент – 1,036436, энтропийный потенциал – 0,025169 и комплексный энтропийный потенциал – 0,0706. Соответствующие значения коэффициентов для Российской Федерации для временного периода с 1995 по 2002 г. равны 1,313537; 0,006394; 0,016255; для временного периода с 2003 по 2010 г. равны 1,164957; 0,009273; 0,02233; для Ульяновской области для временного периода с 1995 по 2002 г. равны 1,277311; 0,022142; 0,063764; для временного периода с 2003 по 2010 г. равны 1,022431; 0,012805; 0,033565.

Из анализа расчетов видно, что для всех исследуемых субъектов значение энтропийного коэффициента k_e уменьшается, что свидетельствует о снижении меры неопределенности в определении состояния исследуемой системы и повышении уровня предсказуемости ее параметров.



Изменения коэффициента Джини по годам

Значения энтропийного потенциала Δ_e для Пензенской области и в целом по РФ имеет тенденцию к возрастанию, что свидетельствует об увеличении степени неравномерности распределения среднедушевых доходов. И, наоборот, для Ульяновской области значение энтропийного потенциала имеет тенденцию к снижению, а следовательно, к более равномерному распределению среднедушевых доходов.

Что касается значения комплексного энтропийного потенциала L_{Δ} , то для временного периода с 1995 по 2002 г. системы формирования среднедушевых доходов для Пензенской и Ульяновской областей можно считать подобными. Однако для временного периода с 2003 по 2010 г. это подобие существенным образом нарушается и более близкими системами формирования среднедушевых доходов следует считать Российскую Федерацию и Ульяновскую область.

В целом для ближайшего прогнозного периода до 2013 года следует ожидать выравнивания ситуации с концентрацией среднедушевых доходов для Ульяновской области и Российской Федерации, и, наоборот, для Пензенской области степень выравнивания исследуемого показателя с Российской Федерацией будет происходить гораздо медленнее, чем для Ульяновской области.

Список литературы

1. Прангишвили, И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И.В. Прангишвили // Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова. – М.: Наука, 2003. – 428 с.
2. Кулаков, В.Г. Энтропийные модели в исследовании социальных систем / В.Г. Кулаков, В.Л. Лазарев, В.А. Федудин // Вопросы статистики. – 2010. – №10. – С. 47–50.
3. Основные показатели дифференциации доходов населения Пензенской области и регионов Приволжского Федерального округа (статистический сборник). – Пенза: Пензастат, 2009. – 38 с.
4. Федоров, М.В. Метод идентификации форм распределения малых выборок / М.В. Федоров // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2002. – Т. XLVI. – 3. – С. 9–11.

References

1. Prangishvili, I.V. Entropic and other system regularities: Questions of difficult systems management / I.V. Prangishvili // Institute of problems of management of V.A. Trapeznikova. – M.: Science, 2003. – 428 p.
2. Kulakov, V.G. Entropy models in research of social systems / V.G. Kulakov, V.L. Lazarev, V.A. Fedulin // Statistics Questions. – 2010. – №10. – P. 47–50.
3. Main indicators of differentiation of the income of the population of the Penza region and regions of the Volga Federal district (the statistical collection). – Penza: Penzastat, 2009. – 38 P.
4. Fedorov, M. V. A method of identification of forms of distribution of small samples / M. V. Fedorov // the Russian chemical magazine (The magazine of the Russian chemical society of D.I. Mendeleev). – 2002. – Volume XLVI. – 3. – P. 9–11.

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 400074, г. Волгоград,
ул. Академическая, д. 1.
тел.: (8442) 96-99-78; факс: (8442) 96-99-78

Максимчук Ольга Викторовна,
доктор экономических наук, профессор
кафедры «Экономика и управление
проектами в строительстве»

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

Горбунов Валерий Николаевич,
кандидат экономических наук, доцент
кафедры «Экономика, организация и
управление производством»

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 394006, г. Воронеж,
ул. 20-летия Октября, д. 84
тел.: (4732) 76-39-75, 71-59-05;
факс: (4732) 71-59-05

Мешерякова Ольга Константиновна,
кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры «Организация
строительства, экспертизы и управление
недвижимостью»
E-mail: onora@list.ru

Volgograd State University of Architecture and Building

Russia, 400074, Volgograd, 1,
Akademicheskaya St.
tel.: (8442) 96-99-78; fax: (8442) 96-99-78

Maksymchuk Olga Viktorovna,
Doctor of Economic Science, Professor of the
department «Economics and Project
Management in Construction»

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

Gorbunov Valeriy Nikolaevich
Candidate of Economic Science, Associate
Professor of the department «Economics,
organization and management of production»

Voronezh State University of Architecture and Building
Russia, 394006, Voronezh, 84,
20-letiya Oktyabrya St.,
tel.: (4732) 76-39-75, 71-59-05;
fax: (4732) 71-59-05

Mescheryakova Olga Konstantinovna,
Candidate of Economic Science, Associate
Professor of the department «Organization of
Construction, Property Management and
Examination»
E-mail: onora@list.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРНОЙ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ*

О.В. Максимчук, В.Н. Горбунов, О.К. Мешерякова

Определены основные особенности формирования кластерных систем в строительной сфере и их влияние на развитие кластеризации строительного комплекса России.

Ключевые слова: строительная сфера, кластерная система, формирование кластеров.

SOME FEATURES OF CLUSTER SYSTEMS FORMING IN CONSTRUCTION SECTOR

O.V. Maksymchuk, V.N. Gorbunov, O.K. Mesheryakova

The article presents the basic features of cluster systems formation in construction sector and their impact on the clustering of the Russia building complex.

Keywords: construction sector, cluster systems, forming clusters.

Кластерная система – система географически взаимосвязанных компаний и организаций, действующих в определенной сфере и характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга [1, с. 21].

* Исследование выполнено в рамках государственного контракта № 16.740.11.028 от 6 ноября 2010 г.

В современных экономических реалиях нашей страны повышается роль регионов, более того, при переходе к этапу стабилизации всё актуальнее становится вопрос прогнозирования их развития. В этих условиях строительная сфера наиболее перспективна для регионов с низкой деловой активностью. Значительные колебания выполняемых объемов работ, изношенные основные фонды и другие негативные факторы привели к ситуации, когда рыночная цена объекта недвижимости значительно отличается от себестоимости строительства.

В подобных условиях именно комплексное стратегическое управление на предприятиях строительного комплекса в совокупности с формированием гибких организационных структур позволит максимально использовать потенциал предприятий. При этом повышение эффективности деятельности комплекса возможно при условии формирования в нем кластерной системы, основанной на таких базовых принципах, как стабильность функционирования, надежность, экономическая устойчивость.

Концепция М. Портера основывается на концентрации конкурентоспособных предприятий в пределах одной отрасли. Одна или несколько фирм, достигая конкурентоспособности на мировом рынке, распространяют свое синергетическое влияние на ближайшее окружение: поставщиков, потребителей и конкурентов, формируя «кластер» [1, с. 21].

Подход Портера основывается на разработке системы детерминант конкурентного преимущества стран – «конкурентного ромба»: 1) факторные условия (человеческие и природные ресурсы); 2) условия внутреннего спроса (качество спроса, соответствие тенденциям развития спроса на мировом рынке); 3) смежные и обслуживающие отрасли (поступление сырья и полуфабрикатов); 4) стратегия и структура фирм, внутриотраслевая конкуренция [1, с. 84].

Для отечественной микроэкономики практическую ценность имеет предложение немецкого эксперта П. Фишера по инновационно-инвестиционной политике зарубежных стран, который вместо «точек роста» предлагает использовать «центры кристаллизации» – группы взаимосвязанных отраслей, имеющих высокий рыночный потенциал, т.е. объединяющих предприятия по отраслевому признаку. Конкретная отрасль, привлекающая инвестиции, не может рассматриваться отдельно от остальных и должна развиваться внутри кластера вертикально взаимосвязанных секторов [2, с. 25].

В мировой практике появилась тенденция, характерная для крупных компаний, – концентрация на главных направлениях и передача другим предприятиям производства промежуточных продуктов и сферы ключевых услуг. Сильные международные позиции местных потребителей выгодны для местных поставщиков, стимулируют их выдвижение на те рынки, где функционируют потребители. Примером являются немецкие и японские производители автомобильных компонентов, которые продвигаются вслед за национальными автогигантами, открывая свои предприятия в развитых и развивающихся странах [2, с. 27].

Представители европейской школы кластерного развития отмечают важность стратегического подхода к управлению кластерами. Возникновение кластерной системы объясняется передачей по технологическим цепочкам продукции с высокой потребительской ценностью от фирмы-родоначальницы к предприятиям-смежникам [2, с. 24].

Важной предпосылкой построения кластерной системы в отечественной экономике является обмен информацией по поводу потребностей, техники и технологий между отраслями-покупателями, поставщиками и родственными отраслями.

Можно выделить 3 определения кластерной системы, подчеркивающие основные характеристики ее функционирования:

- регионально ограниченные формы экономической активности в рамках сходных (родственных) секторов, привязанные к определенным научным учреждениям;
- вертикальные производственные цепочки; секторы, имеющие весьма узкое определение границ, где смежные этапы производственного процесса формируют ядро кластера;

– отрасли, обладающие высоким уровнем агрегации (например, «химический кластер») или совокупности секторов на еще более высоком уровне агрегации (например, «агропромышленный кластер») [3].

Кластерные стратегии могут быть направлены как на повышение использования знаний в существующих кластерах, так и на создание новых сетей сотрудничества внутри кластеров.

Кластерную систему в строительстве следует рассматривать как способ самоорганизации предприятий различных отраслей народного хозяйства, объединенных устойчиво функционирующей производственно-экономической цепочкой, направленный на максимально эффективное их функционирование с целью максимизации конечной продукции при минимальном уровне затрат труда и времени.

Эффективное функционирование кластерной системы в строительной сфере зависит от оценки ее составляющих, которые и определяют специфические особенности деятельности. К критериям оценки можно отнести: наличие и концентрацию трудовых ресурсов в данном комплексе; развитость материально-технических баз в регионе; обеспеченность современными техническими ресурсами предприятий комплекса; накопленный кадровый потенциал предприятий; наличие инвестиционных и информационных потоков в регионе; уровень развития промышленной и социальной сфер и их инфраструктур в данном регионе; удельный вес, занимаемый региональным комплексом по территории и объему производства в рамках всего строительного комплекса России; уровень управляемости предприятий комплекса; уровень экономической устойчивости, стабильности и надежности функционирования предприятий комплекса [2, с. 28].

Неравномерное распределение ресурсов, территориальная отдаленность базы от места приложения ресурсов, рассредоточенность объектов и ресурсов обуславливают следующую классификацию строительных комплексов [2, с. 31].

Первая группа (Г-1). К таким регионам относится обширная территория, охватывающая северо-восточную часть Европы и Север Азии, с суровым климатом на большей ее части, с низкой в среднем плотностью населения, с весьма богатым и разнообразным, но чрезвычайно разбросанным потенциалом природных ресурсов, т.е. это регионы с «экономическими изюминками» типа нефти, газа, золота и прочих природных богатств [2, с. 31].

Причем в эту группу входят следующие комплексы: 1) экспортоориентированные сырьевые, или «транспортные» регионы. (Тюменская и Липецкая области, Калининград, Владивосток); 2) экономически самостоятельные (независимые от федерального центра) регионы, богатые природными ресурсами (Татарстан, Башкортостан, Якутия-Саха); 3) отдаленные северные и восточные регионы (Крайний Север, Забайкалье).

Вторая группа (Г-2). Это группа регионов – лидеров инвестиционного рынка. К этой группе можно отнести Москву и Московскую область, Санкт-Петербург и Ленинградскую область, Нижний Новгород, Самару. От прочих их отличает то, что эти регионы не требуют государственной помощи.

В эту группу входят: 1) регионы «столичного типа» с диверсифицированной экономикой и растущим финансовым сектором: Москва, чуть в меньшей степени – Санкт-Петербург; 2) регионы с крупной промышленностью (Нижний Новгород, Самара), взявшие изначально курс на форсирование экономических реформ.

Третья группа (Г-3). Она представлена регионами, где сконцентрировано большое количество высококвалифицированных трудовых ресурсов при ограниченных природных ископаемых и малой инвестиционной деятельности. Так, на западе, в европейской части страны (включая Урал) размещено примерно 3/4 населения страны, в то время как эти регионы располагают только четвертью ее природоресурсного потенциала и отличаются весьма низкой деловой активностью [2, с. 32].

В эту группу входят: 1) регионы, проводящие политику «мягкого вхождения в рынок» (Ульяновская область); 2) кризисные (депрессивные) регионы со специализацией на легкой промышленности и машиностроении, в том числе – на оборонном производстве. Типичные представители таких регионов – Ивановская и Пензенская

области; 3) экономически слаборазвитые аграрные и периферийные регионы, зависящие от федерального бюджета (районы Северного Кавказа, Тыва) [2, с. 34].

Пензенская область по своим характеристикам относится к третьей группе регионов – хорошая обеспеченность трудовыми ресурсами при отсутствии полезных ископаемых, непостоянном и недостаточном финансировании.

Таким образом, под влиянием факторов внешней среды деятельность предприятий строительной сферы осуществляется в рамках одной из трех групп, каждая из которых имеет свои признаки и рациональные границы.

Стимулирование предприятий в рамках кластерной системы может осуществляться следующими путями: прямое финансирование; предоставление ссуд; целевые дотации на научно-исследовательские разработки; создание фондов внедрения инноваций с учетом возможного коммерческого риска; безвозмездные ссуды [2, с. 35].

Эффективность внедрения кластерной системы в строительной сфере наблюдается по всем направлениям [2, с. 37]:

- появляются новые участники из других отраслей, ускоряющие свое развитие и обеспечивающие необходимые средства для внедрения новых стратегий;
- происходит свободный обмен информацией и быстрое распространение новшеств по каналам поставщиков или потребителей, имеющих контакты с многочисленными конкурентами;
- возникают взаимоотношения предприятий внутри кластерной системы, ведущие к появлению новых путей в конкуренции и порождающие новые возможности;
- образуются новые комбинации идей и человеческих ресурсов.

Кластеры конкурентоспособных отраслей представляют собой вертикальную цепь, состоящую из большого числа последовательных ступеней и из отраслей – «поставщиков» оборудования и других специализированных ресурсов, что вызывает всплеск инноваций и укрепляет способность конкурировать на мировом рынке.

Формирование кластерных систем в строительной сфере способствует повышению экономической эффективности предприятий строительного комплекса за счет повышения устойчивости предприятий, уровня стабильности управления и обеспечения рациональных форм управления рисками.

Список литературы

1. Портер, М. Международная конкуренция / М. Портер. – М., 1993.
2. Дурандина, Е.В. Выбор вариантов формирования кластерной системы на предприятиях строительной сферы: дис.... канд. экон. наук: 08.00.05 / Е.В. Дурандина. – Пенза, 2005.
3. Цихан, Т.В. Кластерная теория экономического развития / Т.В. Цихан // Теория и практика управления. – 2003. – №5.

References

1. Porter, M. International competition / M. Porter. – M., 1993.
2. Durandina, E.V. The choice of options to form a cluster system in the construction sector companies: dis.... kand. econ. sciences: 08.00.05/ E.V. Durandina. – Penza, 2005.
3. Cihan, T.V. Cluster Theory of Economic Development / T.V. Cihan // Theory and practice of management. – 2003. – №5.

Указатель статей, опубликованных в 2012 г.

1. **Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Леонтьев В.А., Тараканов О.В., Грейсух Г.И.** Создание бактерицидной воздушной среды на основе применения электроактивированной воды в системах кондиционирования воздуха. – №1(12). – С.140–147.
2. **Альбакасов А.И.** Формализация синтеза композиционных материалов. – №1(12). – С.10–15.
3. **Альбакасов А.И., Королев Е.В.** Системное проектирование серных композиционных материалов. – №2(13). – С.18–27.
4. **Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Гарькина И.А., Князев В.А., Давыдов Г.П.** Математическое моделирование кинетики процесса сорбционной очистки сточных вод. – №1(12). – С.148–153.
5. **Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Гарькина И.А., Кошев А.Н.** Новая технология интенсификации работы станций биологической очистки сточных вод с использованием перемешивающих эрлифтных устройств. – №1(12). – С.90–98.
6. **Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Камбург В.Г., Ласьков Н.Н., Давыдов Г.П.** Математическое моделирование процессов очистки сточных вод в аэротенках. – №2(13). – С.114–120.
7. **Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Кошев А.Н., Камбург В.Г., Гарькина И.А.** Гидравлические закономерности распределения скоростей турбулентного потока в поперечном сечении водопроводных труб. – №2(13). – С.107–113.
8. **Баканова С.В., Грейсух Г.И., Родионов Ю.В.** Воздушные системы охлаждения в рефрижераторном трюме. – №1(12). – С.136–139.
9. **Береговой А.М., Береговой В.А., Мальцев А.В., Петрянина М.А.** Тепловая эффективность эксплуатируемых жилых зданий. – №1(12). – С.107–111.
10. **Боровков Д.П., Степанов С.А., Камбург В.Г., Чичиров К.О.** Реконструкция системы аспирации сушильного оборудования предприятий строительной индустрии посредством закрутки потока в воздуховодах. – №1(12). – С.123–128.
11. **Вдовин В.М., Мухаев А.И.** Вклеенные центровые шпонки в соединениях деревянных конструкций. – №2(13). – С.95–101.
12. **Вдовин В.М., Мухаев А.И.** Работа соединения на центровых вклеенных кольцевых шпонках при передаче ими нагрузки под углом к волокнам древесины. – №2(13). – С.102–106.
13. **Вернигорова В.Н., Саденко С.М., Ульянов Д.В.** Термодинамические условия самопроизвольного протекания процесса диссоциации молекул воды на поверхности кремнезёма. – №2(13). – С.53–55.
14. **Вилкова Н.Г., Дорчина О.В.** Очистка сточных вод молочных комбинатов методом пенного концентрирования азотсодержащих веществ. – №2(13). – С.128–132.
15. **Гарькина И.А., Данилов А.М.** Формализованная оценка качества сложных систем: состояние и перспективы. – №2(13). – С.34–37.
16. **Гарькина И.А., Данилов А.М.** Управление в сложных технических системах: методологические принципы проектирования. – №1(12). – С.39–42.
17. **Горшков В.И., Родионов Ю.В., Тараканов О.В., Святкина А.А.** Регулирование расхода воздуха в системах вентиляции газодинамическим способом. – №2(13). – С.150–154.
18. **Гришин Б.М., Андреев С.Ю., Кошев А.Н., Вилкова Н.Г., Бикунова М.В.** Использование электрогидродинамических устройств для реагентной обработки подземных вод. – №2(13). – С.121–127.
19. **Гришин Б.М., Андреев С.Ю., Ласьков Н.Н., Камбург В.Г., Демидочкин В.В.** Теоретические и экспериментальные исследования флотационной очистки нефтесодержащих производственных сточных вод с применением вихревых смесительных устройств. – №1(12). – С.99–106.
20. **Губанов Д.А.** Строительные композиты на основе отходов производства металлополимерных водопроводных труб. – №2(13). – С.60–63.
21. **Гучкин И.С., Булавенко В.О.** Усиление железобетонной балки стальной затяжкой, накладками и фиброармированным пластиком. – №1(12). – С.69–74.
22. **Гучкин И.С., Черячукин В.В., Панков А.В.** Прочность и жёсткость балок, усиленных комбинированной системой. – №2(13). – С.84–89.

23. **Дамдинова Д.Р., Хардаев П.К., Павлов В.Е., Алексеева Э.А., Анчилов Н.Н.** О проблеме улучшения структуры пеностекол из цеолитсодержащих пород. – №2(13). – С.38–44.
24. **Демьянова В.С., Гусев А.Д.** Получение дисперсно-армированных бетонов различного функционального назначения с использованием вторичных материальных ресурсов. – №1(12). – С.56–60.
25. **Демьянова В.С., Гусев А.Д., Симакина Г.Н.** Основные направления развития рынка черепицы в строительном комплексе Пензенской области. – №1(12). – С.193–196.
26. **Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Родин А.И.** Биостойкие строительные композиты каркасной структуры на смешанных вяжущих. – №1(12). – С.32–38.
27. **Ерофеев В.Т., Волгина Е.В., Казначеев С.В., Богатов А.Д., Ерыкалина И.В.** Оптимизация содержания компонентов винилэфирных композитов. – №1(12). – С.22–31.
28. **Иванкин М.А., Аверкин А.Г., Грейсх Г.И., Степанов С.А.** Сравнительный анализ эффективности работы устройств для удаления загрязненного воздуха из помещения. – №2(13). – С.138–143.
29. **Ивашенко А.М., Калашников В.И., Каргин А.А.** Особенности расчета характеристик устойчивости для колонн из стали и высокопрочных бетонов в стойках каркасов зданий. – №2(13). – С.28–33.
30. **Камбург В.Г., Питак И.В., Моисеев В.Ф., Питак О.Я.** Управление инвестиционно-строительным проектированием в жилищной сфере. – №2(13). – С.182–188.
31. **Королева Т.И., Ежов Е.Г., Салмин В.В., Васин М.Е.** Некоторые аспекты использования солнечной радиации в Пензенском регионе. – №2(13). – С.144–149.
32. **Королева Т.И., Кузьмишкин А.А., Васин М.Е., Ежов Е.Г., Левцев А.П.** Энергосберегающие мероприятия в системах отопления общественных зданий. – №2(13). – С.155–159.
33. **Королева Т.И., Салмин В.В., Ежов Е.Г.** Оценка эффективности использования энергосберегающих мероприятий при переходе на автономный источник теплоты. – №1(12). – С.154–160.
34. **Кошев А.Н., Кузина В.В., Глебова Т.А.** Математическое моделирование как элемент управления в задачах строительной отрасли. – №2(13). – С.168–177.
35. **Кошевой О.С., Глебова Т.А., Чиркина М.А.** Диагностика показателей концентрации распределения среднедушевых денежных доходов населения на основе энтропийного подхода. – №2(13). – С.193–196.
36. **Кубис В.А., Степанов С.А., Снежкина О.В., Левцев А.П.** Моделирование эффективности работы защитной газозащитной завесы. – №1(12). – С.118–122.
37. **Кузин Н.Я., Багдоев С.Г.** Оценка влияния внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий. – №2(13). – С.79–83.
38. **Кузнецов Ю.С., Кувшинова О.А.** Адсорбционное понижение прочности минералов в процессе измельчения. – №2(13). – С.49–52.
39. **Логанина В.И., Симонов Е.Е.** Закономерности формирования структуры и свойств известковых композитов с применением модифицированного диатомита. – №2(13). – С.56–59.
40. **Максимова И.Н., Макридин Н.И.** Технологические особенности формирования структуры и свойств конструкционных легких бетонов. – №2(13). – С.45–48.
41. **Максимчук О.В., Горбунов В.Н., Мещерякова О.К.** Особенности формирования кластерной системы в строительной сфере. – №2(13). – С.197–199.
42. **Максимчук О.В., Ткаченко И.В., Попова И.В.** Разработка концепции региональной политики малоэтажного жилищного строительства. – №2(13). – С.189–192.
43. **Манойло Е.В., Манойло Ю.А., Камбург В.Г., Моисеев В.Ф.** Применение отходов содового производства в строительстве. – №1(12). – С.43–50.
44. **Митягин С.Д.** Современные проблемы подготовки градостроителей высшей квалификации. – №1(12). – С.161–164.
45. **Монахов В.А.** Автоматизированное формирование геометрической матрицы на основе графа стержневой системы. – №2(13). – С.90–94.
46. **Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н.** Трёхглавый рельсовый блок для подкрановых балок. – №1(12). – С.66–68.
47. **Нефёдов В.А.** Качество городской среды как интегрирующий фактор архитектуры, градостроительства и дизайна. – №1(12). – С.165–169.
48. **Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Скачков Ю.П.** Коррозионно-механическое разрушение железобетонных конструкций при одновременном действии хлоридной коррозии и карбонизации. – №2(13). – С.72–78.

-
49. **Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Скачков Ю.П.** Модель деформирования бетона и полимербетона при ползучести в условиях воздействия агрессивной среды. – №2(13). – С.64–71.
50. **Овчинникова Н.П.** О специфике архитектуроведения. – №1(12). – С.170–177.
51. **Прохоров С.Г., Родионов Ю.В., Аржаева Н.В., Кожунов А.А., Салмин В.В.** Утилизация теплоты уходящих газов технологических печей машиностроительного завода. – №1(12). – С.129–135.
52. **Прохоров С.Г., Родионов Ю.В., Тараканов О.В., Кожунов А.А.** Оценка загрязнения атмосферы выбросами газифицированных котлов малой мощности при применении теплоутилизаторов «сухого» типа. – №2(13). – С.133–137.
53. **Резник Г.А., Малышев А.А.** Анализ и оценка потенциала устойчивости эколого-экономической системы. – №1(12). – С.197–204.
54. **Селяев В.П., Низина Т.А., Егунова Е.А.** Сопротивление полиуретановых композитов действию УФ-облучения. – №1(12). – С.4–9.
55. **Селяев В.П., Осипов А.К., Неверов В.А., Маштаев О.Г., Сидоров В.В.** Полиструктурная модель теплоизоляционного материала на основе дисперсного микрокремнезёма. – №2(13). – С.5–11.
56. **Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В.** Оценка надежности железобетонных внецентренно сжатых колонн. – №1(12). – С.61–65.
57. **Сураева Е.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф., Ерофеев В.Т.** Свойства цементно-песчаных композитов, модифицированных биоцидной добавкой. – №1(12). – С.16–21.
58. **Темнов В.Г.** Принятие решений при проектировании искусственной среды обитания с использованием бионических принципов конструирования. – №1(12). – С.178–183.
59. **Туманов В.А.** Повышение выносливости стальных подкрановых балок. – №1(12). – С.75–82.
60. **Фильчакина И.Н., Береговой А.М., Ежов Е.Г., Тараканов О.В.** Инженерная методика расчёта воздухораспределителя локальной раздачи воздуха с интенсивным гашением скорости приточных струй. – №1(12). – С.112–116.
61. **Фокин Г.А., Фолимагина О.В.** Повышение эффективности материалов на основе гипсового вяжущего путем активации воды затворения вихрединамическим полем. – №1(12). – С.51–55.
62. **Хаметов Т.И., Букин С.Н.** Экономическая эффективность инвестирования в инновационную деятельность предприятий строительного комплекса. – №1(12). – С.188–192.
63. **Хрусталева Б.Б., Демьянова В.С., Ганиев М.Г.** Формирование стратегии развития предприятий строительного комплекса на основе системного подхода. – №2(13). – С.178–181.
64. **Хрусталева Б.Б., Логанина В.И., Учаева Т.В.** Эффективность управления производственными процессами в рамках мониторинга. – №1(12). – С.184–187.
65. **Черкасов В.Д., Савченкова Г.А., Артамонова Т.А., Юркин Ю.В.** Композиции из неполярных каучуков для неотверждаемых герметиков. – №2(13). – С.12–17.
66. **Черняев А.А.** К вопросу о расчете пластинок средней толщины из условия жесткости. – №1(12). – С.83–89.
67. **Чертег К.Л., Зеленцов Д.В., Сафонова Н.А., Пыстин В.Н., Бикунцова М.В., Малиновский А.С.** Обработка осадков сточных вод нефтяного комплекса. – №2(13). – С.160–167.