

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель

Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:

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

Адрес редакции:

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

Редактор: Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

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

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

Подписной индекс:
36946 в каталоге Роспечати

Авторы опубликованных материалов
несут ответственность за достоверность
приведенных сведений, точность данных
по цитируемой литературе и за исполь-
зование в статьях данных, не подлежа-
щих открытой публикации.
Редакция может опубликовать статьи
в порядке обсуждения, не разделяя точку
зрения автора.

Подписано к печати 15.09.2016.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 23.875. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 558.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО**
3(28)/2016

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ 5

**Максимова И.Н., Макридин Н.И.,
Скачков Ю.П., Полубарова Ю.В.**
ДЕФОРМАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ И ЦЕМЕНТНО-
ПЕСЧАНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ДИАГРАММЕ
ОСЕВОГО СЖАТИЯ..... 5

**Лещев С.И., Лесовик Р.В., Агеева М.С.,
Карацупа С.В.**
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ЦЕОЛИТ-
СОДЕРЖАЩЕГО ТРЕПЕЛА НА МИКРОСТРУК-
ТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТРИЦЫ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ 14

**Максимова И.Н., Ерофеев В.Т.,
Макридин Н.И., Тамбовцева Е.А.**
ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ДОЗИРОВАНИЯ
СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА НА ФАЗОВЫЙ
СОСТАВ И ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРНОЙ
МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО
КАМНЯ РАЗНОГО ВОЗРАСТА 21

Логанина В.И., Полубояринов П.А., Рыжов А.Д.
ДОБАВКА НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ
АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО 28

Логанина В.И., Фролов М.В.
ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ
ДЛЯ ОТДЕЛКИ СТЕН ИЗ ГАЗОБЕТОНА 33

Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Зигангареева С.Р.
СИЛИКАТНЫЕ СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ
ИЗВЕРЖЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД..... 38

Данилов А.М., Гарькина И.А.
СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
КОМПОЗИТОВ..... 45

Шошин Е.А., Ивашенко Ю.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ЦЕМЕНТНЫХ
ГИДРОСИЛИКАТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ИЗОМЕРНЫМИ ДИСАХАРИДАМИ..... 50

Селяев П.В., Киселев Н.Н., Лияскин О.В.
ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПОРОШКОВОЙ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ
МИКРОКРЕМНЕЗЕМА 55

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

Гаврилов М.А., Ерофеев В.Т., Худяков В.А. ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АСБЕСТОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА	60	Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Ласьков Н.Н., Кочергин А.С. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ХОЗЯЙ- СТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ	131
Низина Т.А., Морозов М.А., Низин Д.Р., Чернов А.Н. ЭКЗОТЕРМИЧНОСТЬ НАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ	68	Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Камбург В.Г., Князев В.А. ФЛОТАЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОД- СТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД; МАТЕМАТИЧЕ- СКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДИСПЕРГИРО- ВАНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ	138
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	77	Гришин Б.М., Бикунова М.В., Камбург В.Г., Кошев А.Н. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ХОЗЯЙ- СТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ	143
Гучкин И.С., Белюсева И.А., Ласьков Н.Н. ИЗ ОПЫТА УСИЛЕНИЯ СПЛОШНОЙ ЖЕ- ЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ	77	Кучеренко М.Н., Кузнецов Е.П., Грейсух Г.И., Степанов С.А., Ежов Е.Г. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ХРАНИ- ЛИЩ С УЧЁТОМ ДИНАМИКИ ТЕПЛО- МАССОПЕРЕНОСА В СЛОЕ СЫРЬЯ.....	149
Миряев Б.В., Кузнецов А.А., Толушов С.А. МЕТОД РАСЧЕТА НА МЕСТНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СЕТЧАТЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КУПОЛОВ.....	83	Горшков В.И., Мирошниченко Д.С., Грейсух Г.И., Степанов С.А., Ежов Е.Г. СТОХАСТИЧЕСКАЯ ВЕТВЯЩАЯСЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ	155
Кочеткова М.В. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРОЧНОСТЬ КАМЕННОЙ КЛАДКИ	90	Данилов А.М., Гарькина И.А. МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД	161
Комаров В.А., Болдырева О.В., Болдырев С.А. РАБОТА ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ В СЖАТЫХ ПОЛОСАХ БЕТОНА КОНСОЛЬНЫХ ОПОР РИГЕЛЕЙ.....	95	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	166
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ	100	Резник С.Д. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕНЕДЖЕРА С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ НАЧАЛЬНИКОМ: ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ СОБСТВЕННЫХ ИДЕЙ И ПРОЕКТОВ	166
Жданова А.Г., Комина Г.П. ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПРИ ОТОПЛЕНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ГАЗОВЫМИ ИНФРАКРАСНЫМИ ГОРЕЛКАМИ	100	Резник С.Д., Холькина О.В. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ: ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ	175
Береговой А.М., Дерина М.А. ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ В РАСЧЕТЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ.....	106	Усатенко А.Н., Учаева Т.В. РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРИБЫЛИ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	182
Бируля В.Б. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ КОНВЕЙ- ЕРНЫХ ЛИНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ	111	Болдырев С.А., Гарькин И.Н., Медведева Л.М. ФОРМЫ РАБОТЫ ЦЕНТРА ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ И СОДЕЙСТВИЯ ТРУДОУСТРОЙСТВУ ВЫПУСКНИКОВ....	187
Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Князев В.А., Кочергин А.С. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РАБОТЫ ЭРЛИФТНЫХ УСТРОЙСТВ	116		
Гришин Б.М., Бикунова М.В., Ласьков Н.Н., Камбург В.Г., Малютина Т.В. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОЗЕРНИСТОЙ ЗАГРУЗКИ КОНТАКТНЫХ КАМЕР КОАГУЛЯЦИИ.....	125		

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS . 5

Maksimova I.N., Makridin N.I., Skachkov Yu.P., Polubarova Yu.V.
DEFORMATION FEATURES OF CEMENT STONE AND SAND-CEMENT COMPOSITES ON AXIAL COMPRESSION CHART 5

Leschev S.I., Lesovik R.V., Ageev M.S., Karatsupa S.V.
ANALYSIS OF THE IMPACT OF ZEOLITE TRIPOLION ADDITIVE ON THE MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE BINDINGS MATRIX 14

Maksimova I.N., Erofeev V.T., Makridin N.I., Tambovzeva E.A.
EFFECTS SUPERPLASTICIZERS DOSING ON THE PHASE STRUCTURE AND PARAMETERS OF STRUCTURAL FRACTURE MECHANICS OF CEMENT STONE OF DIFFERENT AGE 21

Loganina V.I., Poluboyarinov P.A., Ryzhov A.D.
ADDITIVE ON THE BASIS OF SYNTHETIC SILICA-ALUMINA FOR LIME COMPOSITE BINDER 28

Loganina V.I., Frolov M.V.
HYDRO-PHYSICAL PROPERTIES OF COATINGS FOR THE FINISHING OF WALLS FROM AERATED CONCRETE 33

Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Zigangaraeva S.R.
SILICATE WALL MATERIALS WITH THE USE OF IGNEOUS ROCKS CRUSHING DROPOUT 38

Danilov A.M., Garkina I.A.
SYSTEM DESIGN OF COMPOSITES 45

Shoshin E.A., Ivashchenko Y.G.
STUDY OF COMPOSITION OF CEMENT HYDROSILICATES MODIFIED BY ISOMERIC DISACCHARIDES 50

Selyaev P.V., Kiselev N.N., Liyaskin O.V.
PRINCIPLES OF CREATING POWDER INSULATION ON THE BASIS OF SILICA FUME 55

Gavrilov M.A., Erofeev V.T., Hudjakov V.A.
CHEMICAL RESISTANCE OF EPOXY COMPOSITES ON THE BASIS OF ASBESTOS INDUSTRIAL WASTE 60

Nizina T.A., Morozov M.A., Nizin D.R., Chernov A.N.
EXOTHERMICITY OF FILLED EPOXY COMPOSITES* 68

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS 77

Guchkin I.S., Belyuseva I.A., Laskov N.N.
EXPERIENCE OF STRENGTHENING A SOLID CONCRETE SLAB OF AN INDUSTRIAL BUILDING 77

Miryayev B.V., Kuznetsov A.A., Tolushov S.A.
METHOD OF CALCULATION FOR LOCAL STABILITY OF SCREEN WOODEN DOME 83

Kochetkova M.V.
INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON THE STRENGTH OF MASONRY 90

Comarov V.A., Boldyreva O.V., Boldyrev S. A.
WORK OF TRANSVERSE REINFORCEMENT IN COMPRESSED STRIPS OF CONCRETE CANTILEVER SUPPORTS OF THE GIRDERS 95

ENGINEERING SYSTEMS 100

Zhdanova A.G., Komina G.P.
FEATURES OF THERMAL CONTROL FOR HEATING OF LARGE PREMISES WITH GAS INFRARED BURNERS 100

Beregovoy A. M., Derina M.A.
CHOICE OF OPTIMALITY CRITERIA IN CALCULATION OF HEAT LOSSES THROUGH EXTERNAL ENCLOSING STRUCTURES 106

Birulia V.B.
OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF GAS SUPPLY SYSTEM OF TUNNEL KILNS FOR PRODUCTION OF BUILDING CERAMIC 111

Andreev S.Yu., Garkina I.A., Knyazev V.A., Kochergin A.S.
THEORETICAL BASIS OF CALCULATION OF AIRLIFT DEVICES 116

Grishin B.M., Bikunova M.V., Laskov N.N., Kamburg V.G., Malyutina T.V.
HYDRAULIC CHARACTERISTICS FOR LARGE GRAIN LOADING OF CONTACT COAGULATION CHAMBERS 125

<p>Andreev S.Yu., Garkina I.A., Laskov N.N., Kochergin A.S. BIOLOGICAL TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER BASED ON HYDRAULIC PARTITIONING 131</p> <p>Andreev S.Yu., Garkina I.A., Kamburg V.G., Knyazev V.A. FLOTATION TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER: MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES OF HYDRODYNAMIC DISPERSION OF GAS PHASE..... 138</p> <p>Grishin B.M., Bikunova M.V., Kamburg V.G., Koshev A.N. BIOLOGICAL PURIFICATION OF MUNICIPAL WASTE WATER WITH THE USE OF VORTEX MIXING DEVICES 143</p> <p>Kucherenko M.N., Kyznetsov E.P., Greysukh G.I., Stepanov S.A., Ezhov E.G. DESIGN OF VENTILATION SYSTEMS FOR AGRICULTURAL STORAGE FACILITY BASED ON DYNAMICS OF HEAT AND MASS TRANSFER IN A LAYER OF RAW 150</p> <p>Gorshkov V.I., Miroshnichenko D.S., Greysukh G.I., Stepanov S.A., Ezhov E.G. STOCHASTIC BRANCHING MODEL PREDICTING FAILURE OF VENTILATION SYSTEMS 155</p>	<p>Danilov A.M., Garkina I.A. METHODOLOGICAL PARADIGM OF NATURAL SCIENCES: SYSTEMS APPROACH..... 161</p> <p>ECONOMICS AND MANAGEMENT..... 166</p> <p>Reznik S.D. RELATIONSHIP OF A MANAGER WITH THE EXECUTIVE: TECHNOLOGIES OF SUPPORT FOR MANAGER'S IDEAS AND PROJECTS 166</p> <p>Reznik S.D., Hol'kina O.V. THE EFFICIENCY OF HUMAN RESOURCES MANAGEMENT IN CONSTRUCTION COMPANIES: THE ECONOMETRIC EVALUATION OF IMPACT FACTORS 175</p> <p>Usatenko A.N., Uchaeva T.V. RESERVES OF PROFIT AND PROFITABILITY INCREASE OF CONSTRUCTION COMPANIES 182</p> <p>Boldirev S.A., Garkin I.N., Medvedeva L.M. FORMS OF WORK OF THE STUDENTS PRACTICE AND GRADUATE EMPLOYMENT CENTRE 187</p>
---	---

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.327:539.4

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

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

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

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

Полубарова Юлия Владимировна,
аспирант

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

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

Polubarova Julija Vladimirovna,
Postgraduate student

ДЕФОРМАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ И ЦЕМЕНТНО- ПЕСЧАНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ДИАГРАММЕ ОСЕВОГО СЖАТИЯ

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

Экспериментально определена деформативность цементного камня и цементно-песчаного композита в зависимости от В/Ц и Ц/П отношений при кратковременном нагружении осевого сжатия. Показана зависимость деформативных характеристик цементных композитов от вида и объемного содержания кварцевого песка в композите.

Ключевые слова: цементный камень, цементно-песчаный композит, упругие и пластические деформации, мера ползучести

DEFORMATION FEATURES OF CEMENT STONE AND SAND-CEMENT COMPOSITES ON AXIAL COMPRESSION CHART

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

Deformation of cement stone and cement-sand composite, depending on the W/C and C/S relationship with short-term loading of axial compression is experimentally determined. Dependence of deformation characteristics of cement composites on the type and volume content of quartz sand in the composite is shown.

Keywords: cement stone, cement-sand composite, elastic and plastic deformation, creep measure

Современная тенденция разработки и использования в строительной практике бетонов нового поколения, то есть высокопрочных бетонов, основанных на модели высокой плотности, дисперсности и однородности макроструктуры, повлекла за собой необходимость осуществления комплексной оценки механического поведения цементных композитов при кратковременном статическом нагружении с целью определения деформационных эффектов на диаграмме сжатия при изучении деформаций упругости, пластичности и вязкоупругости с позиций механики деформируемого твердого тела.

Целью данной работы является анализ диаграмм сжатия конструкционных цементно-песчаных композитов с призменной средней прочностью в диапазоне от 26 до 96 МПа. Для модифицирования макроструктуры данных композитов в исследовании были использованы три вида кварцевых песков: вольский стандартный с $M_{кр} = 2,7$; сурский речной с $M_{кр} = 1,45$ и константиновский карьерный с $M_{кр} = 1,67$.

Дисперсность песков в m^2/kg , определенная по формуле А. С. Ладинского [1], составляла для сурского – 10,86; константиновского – 8,72 и для вольского – 5,67 m^2/kg . Форма и рельеф поверхности песков характеризовались следующим образом: вольский и сурский пески имели окатанную, гладкую поверхность и практически шарообразную форму, константиновский песок характеризовался менее окатанной формой, а поверхность этого песка имела определенную микрошероховатость.

Количество пылевидных и глинистых частиц, определяемых отмучиванием, составляло 2,0 и 7,9 % соответственно в сурском и константиновском песках. В качестве вяжущего применяли себряковский портландцемент активностью 41,5 МПа.

Было изготовлено и испытано четыре группы образцов размером $4 \times 4 \times 16$ см: три – из песчаного бетона на трех разновидностях песка и одна – из цементного камня. В исследовании приняты условные обозначения опытных образцов: ЦК – цементный камень, ЦКВП, ЦКСП, ЦККП – песчаные композиты соответственно на вольском, сурском и константиновском кварцевых песках. Составы смесей опытных образцов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Составы опытных образцов цементного камня и песчаного композита

Группа образцов	Вид песка	Серия образцов	В/Ц	Водопотребность песка по массе, V_p , %	Соотношение Ц : П по массе
1	2	3	4	5	6
I	нет	ЦК-1	0,25	-	1:0
	нет	ЦК-2	0,31	-	1:0
II	вольский	ЦКВП -1	0,263	1,3	1:1
		ЦКВП -1,5	0,31	4,0	1:1,5
		ЦКВП -2	0,36	5,5	1:2
		ЦКВП -3	0,47	7,3	1:3
III	сурский	ЦКСП -1	0,31	6,0	1:1
		ЦКСП -1,5	0,365	7,7	1:1,5
		ЦКСП -2	0,435	9,2	1:2
		ЦКСП -3	0,575	10,8	1:3

1	2	3	4	5	6
IV	константи- новский	ЦККП -1	0,315	6,5	1:1
		ЦККП -1,5	0,37	8,0	1:1,5
		ЦККП -2	0,442	9,6	1:2
		ЦККП -3	0,59	11,3	1:3

Основные характеристики структуры образцов приведены в табл. 2.

Толщину цементного теста $\delta_{\text{ЦТ}}$ на развернутой поверхности дисперсной фазы оценивали по формуле

$$\delta_{\text{ЦТ}} = (V - \Pi) / S', \text{ м,}$$

где V – объем матричного материала, м^3 ; Π – объем пустот уплотненного заполнителя (наполнителя), м^3 ; S' – поверхность заполнителя, м^2 .

Расстояние между соседними зёрнами дисперсной фазы d определяли как удвоенную толщину $\delta_{\text{ЦТ}}$. Коэффициент раздвижки зёрен песка $a_{\text{ТП}}$ определяли из отношения объема заполняющего материала к объему пустот в заполняемом сыпучем материале по формуле

$$a_{\text{ТП}} = V_{\text{ЦТ}} / V_{\text{П}},$$

где $V_{\text{ЦТ}}$ – объем цементного теста, м^3 ; $V_{\text{П}}$ – объем межзёрновых пустот дисперсной фазы, м^3 .

Т а б л и ц а 2

Характеристики структуры песчаных композитов

Серия образцов	Объемное содержание песка, %	Толщина цементного теста, $\delta_{\text{ЦТ}}$, мкм	Расстояние между зёрнами песка, d , мкм	Коэффициент раздвижки зёрен песка, $a_{\text{ТП}}$
ЦКВП -1	39,5	58,4	116,8	2,27
ЦКВП -1,5	49,7	29,0	58,0	1,68
ЦКВП -2	53,0	14,6	29,2	1,34
ЦКВП -3	59,0	1,6	3,2	1,05
ЦКСП -1	37,6	35,0	70,0	2,29
ЦКСП -1,5	45,4	19,0	38,0	1,66
ЦКСП -2	50,2	11,3	22,6	1,37
ЦКСП -3	56,0	4,3	8,6	1,09
ЦККП -1	37,4	44,0	88,0	2,12
ЦККП -1,5	45,2	24,0	48,0	1,54
ЦККП -2	50,0	15,0	30,0	1,27
ЦККП -3	55,6	5,6	11,2	1,01

Консистенция смесей всех серий образцов, за исключением серии ЦК-2, была нормальной густоты и характеризовалась распылом конуса на встряхивающем столике в пределах 168–172 мм. При одинаковой удобоукладываемости цементных композиций их В/Ц отношения были существенно различными. Для условий одинаковой удобоукладываемости водопотребность песков в сравниваемых сериях образцов оценивали по формуле Ю. М. Баженова [1]:

$$V_{\text{П}} = \left((V/C)_{\text{р}} - (V/C)_{\text{ц}} \right) / n \cdot 100,$$

где $(V/C)_{\text{ц}}$ – водоцементное отношение цементного теста нормальной густоты; $(V/C)_{\text{р}}$ – то же, цементного раствора; n – число частей песка, приходящихся на одну часть цемента.

После суточного хранения в формах над водой образцы распалубливали и помещали на 27 суток в ванну с водой при температуре воды 20–22 °С. Затем образцы в течение 30 суток хранили в естественных лабораторных условиях. Из экспериментальных данных по изменению водосодержания образцов (табл. 3) видно, что как поглощение воды, так и влагопотери опытных образцов зависят от их состава и структуры.

Испытание образцов проводили в возрасте 59–60 суток. При этом прочностные, деформационные и структурные характеристики песчаных композитов определяли при одноосном кратковременном статическом сжатии в соответствии с рекомендациями [2].

Из данных табл. 3 видно, что изменение структуры материала как за счет В/Ц отношения для цементного камня, так и соотношения Ц:П для цементного композита при постоянной удобоукладываемости приводит к значительным изменениям контролируемых параметров. Так, изменение В/Ц отношения цементного теста от значения 0,25 (нормальная густота теста) до 0,31 приводило, с одной стороны, к уменьшению призмной прочности и модуля упругости соответственно на 18,6 и 12,7 %, а с другой – к увеличению сжимаемости цементного камня на 7,2 %.

Анализ характеристик процесса трещинообразования цементного камня показал, что практически на всем диапазоне нагружения он не проявлял характерных признаков возникновения и развития микротрещин в своей структуре. Разрушение образцов из цементного камня хрупкоупругое. Подобный характер разрушения с энергетической точки зрения можно объяснить тем, что работа деформации образца практически полностью преобразуется в потенциальную упругую энергию деформации.

Т а б л и ц а 3

Средние значения физико-механических характеристик цементного камня и цементно-песчаных композитов

Серия образцов	Призменная прочность, МПа	Модуль упругости при сжатии, $E \cdot 10^{-3}$, МПа	Сжимаемость при уровне $0,95 R_{пр}$, мм/м	Поперечная растяжимость при уровне $0,95 R_{пр}$, мм/м	Уровень расположения точки R_T^v	Поглощение воды, в % по массе	Потеря влаги при хранении на воздухе, % по массе
ЦК-1	129,0	24,4	5,82	1,51	не обнаруживается	2,63	2,1
ЦК-2	105,0	21,3	6,24	1,84		3,05	2,9
ЦКВП -1	94,4	35,2	3,24	1,14	0,92	1,97	1,7
ЦКВП -1,5	75,0	33,9	3,03	0,83	0,89	1,51	1,4
ЦКВП -2	65,1	32,0	2,26	0,90	0,77	1,43	1,85
ЦКВП -3	26,2	23,8	1,45	0,36	0,73	1,13	3,64
ЦКСП -1	91,2	33,7	3,67	0,73	0,96	1,15	2,5
ЦКСП -1,5	78,8	33,2	3,53	0,87	0,93	1,05	2,25
ЦКСП -2	63,2	28,6	3,15	0,90	0,90	1,1	2,6
ЦКСП -3	31,7	20,0	2,33	0,74	0,78	1,32	5,52
ЦККП -1	88,5	28,5	4,54	0,93	0,96	1,42	2,93
ЦККП -1,5	74,8	25,5	4,44	1,08	0,93	1,02	2,0
ЦККП -2	57,4	23,9	3,29	0,90	0,91	1,37	2,7
ЦККП -3	29,4	17,2	2,56	0,66	0,87	1,41	6,15

При переходе от двухкомпонентной структуры цементного камня к трехкомпонентной цементно-песчаного композита различного состава и разной структуры прочностные, деформативные и структурные характеристики материала претерпевают существенные и принципиальные изменения. Из данных табл. 3 видно, что увеличение содержания песка в композитных составах всех серий образцов вызывает снижение значений призмной прочности, модуля упругости, сжимаемости, поперечной растя-

жимости и уровня расположения параметрической точки R_T^v , характеризующей уровень прогрессирующего развития микротрещинообразования, а также принципиально изменяет характер разрушения образцов при осевом сжатии. Значения модуля упругости цементных композитов на каждом виде песка однозначно определяются его призмной прочностью, чего нельзя сказать о значениях уровней расположения границ параметрической точки R_T^v . На величину средних значений рассматриваемых механических параметров вид песка оказывает значительное влияние.

Как следует из данных табл. 2, по мере увеличения содержания песка в составе цементного композита толщина цементного теста (матричной прослойки $\delta_{\text{ЦТ}}$ и d) между соседними частицами дисперсной фазы уменьшается, что вызывает повышение неоднородности материала, следствием чего является увеличение интенсивности трещинообразования в структуре материала при его одноосном нагружении. Полученные результаты (табл. 3), характеризующие влияние объемного содержания дисперсной фазы, особенности проявления которого обусловлены зерновым составом, формой, рельефом поверхности и дисперсностью мелкого заполнителя, на структуру цементного композита и уровень расположения параметрической точки R_T^v , полностью соответствуют концепции проф. А.А. Гвоздева о возникновении поля возмущений напряжений, обусловленного неоднородностью материала.

На рис. 1–3 приведены графические зависимости продольной и поперечной деформаций трех сравниваемых серий цементного композита.

Из анализа предельных значений ε_1 и ε_2 , приведенных на графических зависимостях рис. 1–3 и в табл. 3, полученных при уровне нагружения $0,95 \cdot R_{\text{пр}}$ для образцов песчаного бетона с Ц:П=1:1, следует отметить, что значения ε_1 и ε_2 песчаного бетона на основе вольского песка составляли соответственно 3,18–3,28 и 0,975–1,3 мм/м, на основе сурского песка – 3,32–3,41 и 0,64–0,73 мм/м, на основе константиновского песка – 3,86–4,09 и 0,915–1,11 мм/м.

Для образцов песчаного бетона с Ц:П=1:1,5 предельные значения ε_1 и ε_2 соответственно составляли: на основе вольского песка – 2,63–2,65 и 0,69–0,83 мм/м, на основе сурского песка – 3,15–3,33 и 0,765–0,78 мм/м, на основе константиновского песка – 3,96–4,03 и 1,18 мм/м.

Для образцов песчаного бетона с Ц:П=1:2 предельные значения ε_1 и ε_2 соответственно составляли: на основе вольского песка – 2,1–2,23 и 0,62–0,96 мм/м, на основе сурского песка – 2,9–3,0 и 0,86–0,94 мм/м, на основе константиновского песка – 3,37–3,48 и 0,83–1,07 мм/м.

Для образцов песчаного бетона с Ц:П=1:3 предельные значения ε_1 и ε_2 соответственно составляли: на основе вольского песка – 1,6–1,71 и 0,38–0,4 мм/м, на основе сурского песка – 2,47–2,53 и 0,55–1,2 мм/м, на основе константиновского песка – 2,5–2,57 и 0,66–0,84 мм/м.

В целом можно отметить, что увеличение Ц:П отношения от 1:1 до 1:3 приводит к заметному уменьшению предельной деформативности ε_1 для всех видов песчаного бетона. Сравнение продольной деформативности цементно-песчаных композитов на основе вольского, сурского и константиновского песка сопровождается соответственно увеличением деформативности ε_1 . Что касается поперечной деформативности ε_2 , то, как следует из графических зависимостей на рис. 1–3, она более чувствительна к структурным факторам состава, модулю крупности и рельефа поверхности зерен песка. Вместе с тем тенденция снижения ε_2 с увеличением Ц:П отношения песчаных бетонов также фиксируется достаточно четко.

Модуль упругости песчаного бетона, как следует из экспериментальных данных табл. 3, также имеет четкую зависимость от объемного содержания мелкого заполни-

теля и генезиса кварцевого песка. Максимальные значения E получены на песчаном бетоне соответственно вольского, сурского и константиновского песков. По мере увеличения Ц:П отношения от 1:1 до 1:3 модуль упругости песчаного бетона уменьшался соответственно на вольском, сурском и константиновском песках в 1,48; 1,68; 1,66 раза.

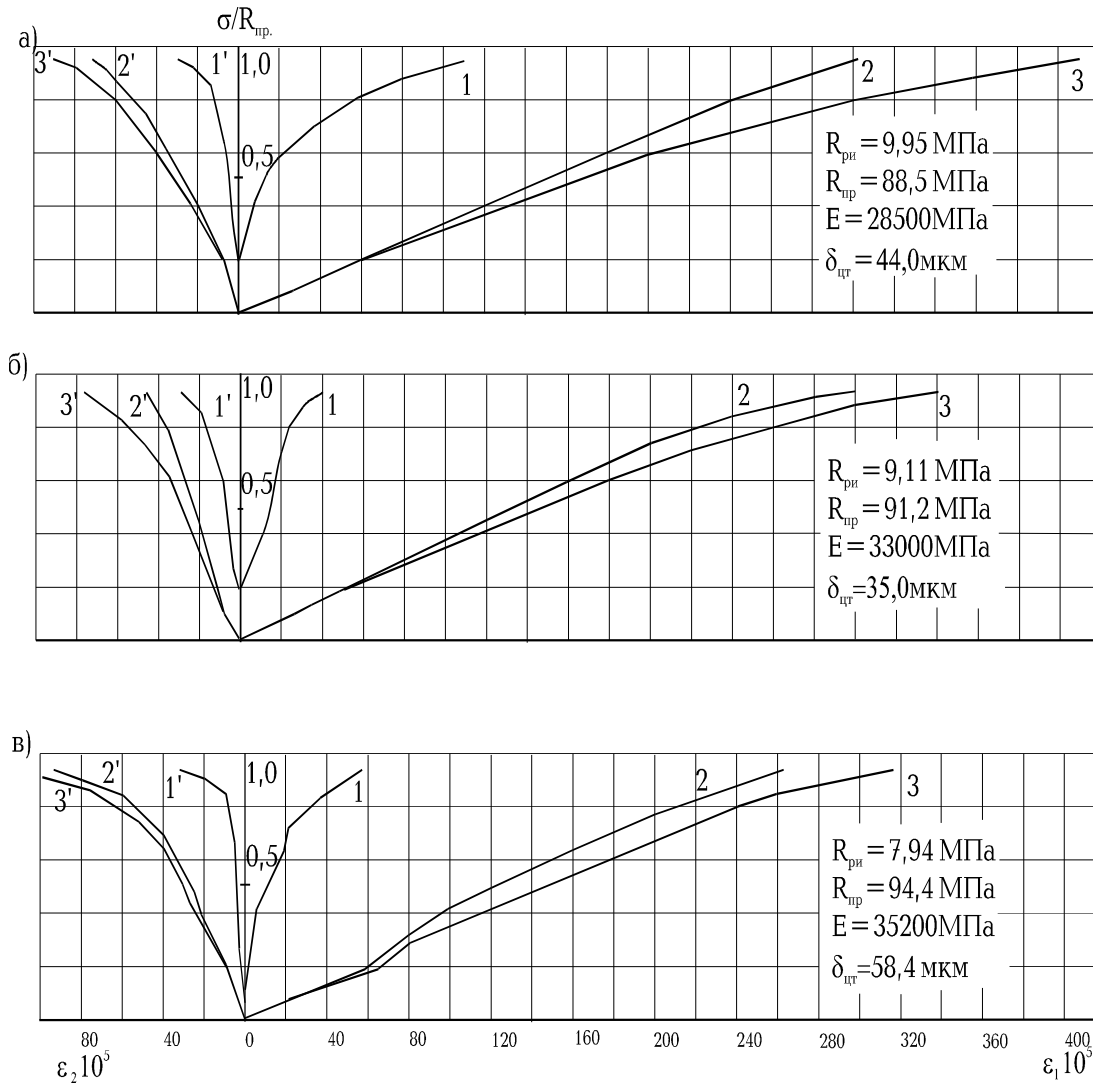


Рис. 1. Деформативность цементно-песчаного композита состава 1:1 при кратковременном осевом нагружении сжатия:
 а – константиновский карьерный песок; б – сурский речной песок;
 в – вольский стандартный песок;

1 и 1' – соответственно продольная ($\epsilon_{1ПМ}$) и поперечная ($\epsilon_{2ПМ}$) относительные деформации кратковременной ползучести; 2 и 2' – соответственно продольная ($\epsilon_{1УМ}$) и поперечная ($\epsilon_{2УМ}$) относительные упруго-мгновенные деформации; 3 и 3' – соответственно продольная (ϵ_1) и поперечная (ϵ_2) относительные полные деформации

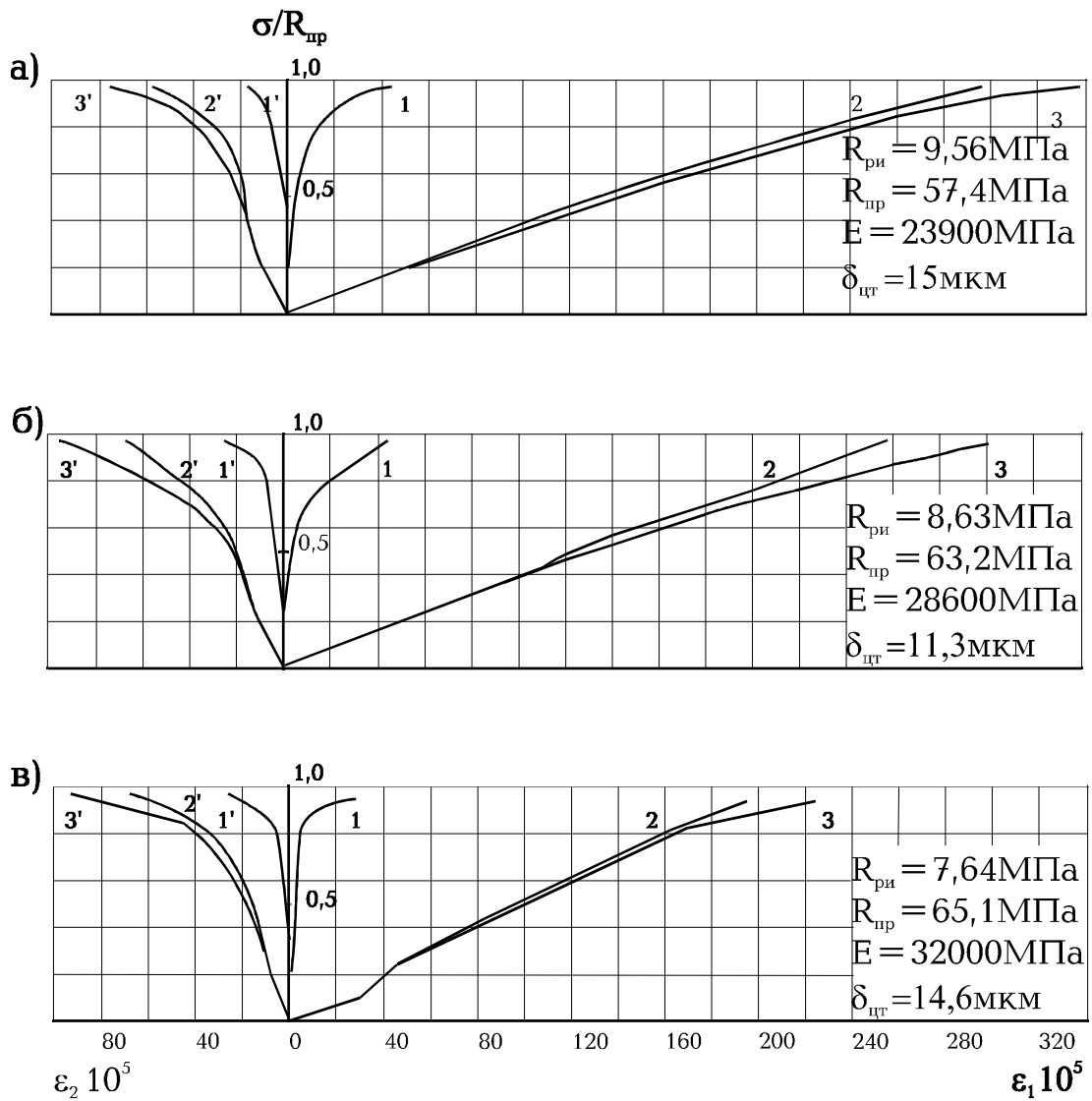


Рис. 2. Деформативность цементно-песчаного композита состава 1:2 при кратковременном осевом нагружении сжатия:

а – константиновский карьерный песок; б – сурский речной песок;

в – вольский стандартный песок;

1 и 1' – соответственно $\varepsilon_{1ПМ}$ и $\varepsilon_{2ПМ}$; 2 и 2' – соответственно $\varepsilon_{1УМ}$ и $\varepsilon_{2УМ}$;

3 и 3' – соответственно ε_1 и ε_2

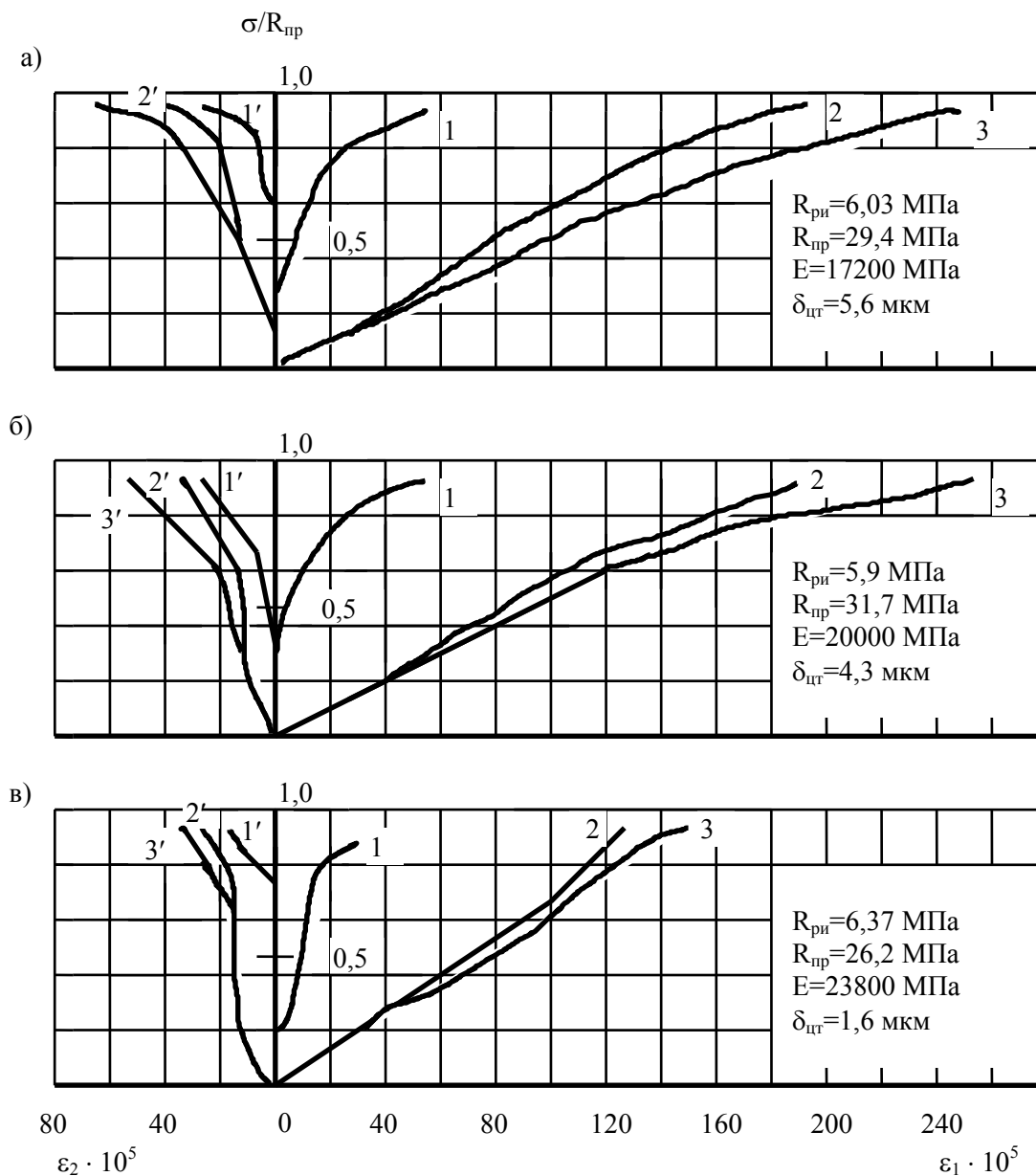


Рис. 3. Деформативность цементно-песчаного композита состава 1:3 при кратковременном осевом нагружении сжатия:

а – константиновский карьерный песок; б – сурский речной песок; в – вольский стандартный песок;

1 и 1' – соответственно $\epsilon_{1ПМ}$ и $\epsilon_{2ПМ}$; 2 и 2' – соответственно $\epsilon_{1УМ}$ и $\epsilon_{2УМ}$;

3 и 3' – соответственно ϵ_1 и ϵ_2

Важной механической характеристикой цементных композитов, определяющей механическое поведение образцов композита на кривой их нагружения, является упругая характеристика материала $\nu_{E/R_{np}}$. В табл. 4 приведены полученные опытным путем средние численные значения $\nu_{E/R_{np}}$ сравниваемых серий образцов цементно-песчаных композитов. Величину упругой характеристики рассчитывали по формуле $\nu = E/R_{np}$, где E – модуль деформации композита, МПа, на уровне нагружения $0,93-0,96 \cdot R_{np}$; R_{np} – призмная прочность материала, МПа.

Упругая характеристика цементно-песчаных композитов

Серия образцов с Ц/П отношением	Упругая характеристика цементных композитов		
	Вид кварцевого песка		
	вольский стандартный	сурский речной	константиновский карьерный
1:1	294	250	243
1:1,5	352	291	239
1:2	446	316	282
1:3	594	375	372

Из анализа экспериментальных данных табл. 4 отчетливо видна зависимость упругой характеристики цементного композита как от вида кварцевого песка, так и от его объемного содержания в составе композита.

Упругая характеристика цементного камня при В/Ц, равном 0,25 и 0,31, в сравнимых условиях испытания была равна соответственно 163 и 142, что обусловлено отсутствием аддитивного влияния высокомодульного компонента – кварцевого песка.

Особенностью графических зависимостей упругой характеристики от интенсивности нагружения сравниваемых серий цементных композитов является то, что все они показывали увеличение численных значений упругой характеристики при повышении интенсивности нагружения до $0,2-0,35 \cdot R_{пр}$, а при дальнейшем повышении уровня нагружения наблюдали снижение упругой характеристики до численных значений, приведенных в табл. 4. При этом следует отметить, что увеличение значений упругой характеристики, то есть жесткости цементного композита, для рассматриваемых составов более характерно для образцов серии ЦКВП и в меньшей степени – для образцов серий ЦКСП и ЦККП.

Что касается графических зависимостей продольных относительных деформаций кратковременной пластичности $\epsilon_{1пм}$, приведенных на рис. 1–3, следует отметить, что они начинают проявляться на разных уровнях напряжения, отличаются кинетикой роста и численных значений также в зависимости от объемного содержания мелкого заполнителя и его генезиса.

В целом можно отметить, что кратковременные деформации пластичности имеют определенную зависимость от упругой характеристики композита, но являются более чувствительной характеристикой, зависящей от геометрических факторов кварцевого песка.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить деформационные закономерности цементно-песчаных композитов в зависимости от крупности, концентрации, формы и рельефа поверхности природных кварцевых песков. Показано, что все основные деформационные и структурные особенности песчаных композитов на кривой нагружения обусловлены особенностями структуры материального цикла «цементный камень – заполнитель», на прочностные особенности которого существенное влияние оказывают геометрические факторы: форма и рельеф поверхности зерен кварцевого песка.

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М.: АСВ, 2002. – 500 с.
2. ГОСТ 24452–80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.

References

1. Bazhenov, Yu.M. Concrete technology / Yu. M. Bazhenov. – M.: ASV, 2002. – 500 p.
2. GOST 24452–80. Concretes. Methods for determining the prism strength, elastic modulus and Poisson's ratio.

*Белгородский государственный
технологический университет им В.Г. Шухова*
Россия, 308012, г. Белгород,
ул. Костюкова, 46

Лешев Сергей Иванович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Стандартизация и управление
качеством», главный метролог
E-mail: raketa024@mail.ru

Лесовик Руслан Валерьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительное
материаловедение, изделия
и конструкции», проректор по
международной деятельности
E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru

Агеева Марина Сергеевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Строительное материаловедение, изделия
и конструкции», инженер-исследователь
Центра высоких технологий
E-mail: ageevams@yandex.ru

Карацупа Сергей Викторович,
кандидат технических наук, доцент,
директор Центра высоких технологий
E-mail: Сypik@ya.ru

*Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov*
308012, Russia, 308012, Belgorod, 46,
Kostyukova St.

Leshchev Sergey Ivanovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building materials,
products and designs», chief metrologist
E-mail: raketa024@mail.ru

Lesovik Ruslan Valerievich,
Doctor of Sciences, Professor of department
«Building materials, products and designs»,
Vice-rector for international activities
E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru

Ageeva Marins Sergeevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building materials,
products and designs», engineer-researcher at
the Centre for high technologies
E-mail: ageevams@yandex.ru

Karatsupa Sergey Viktorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Director of the Center for high technology
E-mail: Сypik@ya.ru

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕГО ТРЕПЕЛА НА МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТРИЦЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

С.И. Лешев, Р.В. Лесовик, М.С. Агеева, С.В. Карацупа

Рассмотрены свойства композиционных вяжущих на основе цеолитсодержащего трепела. Показано, что породообразующий минерал цеолитсодержащего трепела (клиноптилолит) благодаря кристаллохимическим особенностям строения выступает в качестве «аккумулятора» растворной части гидратирующей системы, обеспечивая поступление раствора на поздних сроках твердения и тем самым создавая условия для омоноличивания структуры в эксплуатационный период.

Ключевые слова: композиционные вяжущие, цеолитсодержащий трепел, минеральная добавка, оптимизации структуры, мелкозернистый бетон

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ZEOLITE TRIPOLI ADDITIVE ON THE MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE BINDINGS MATRIX

S.I. Leschev, R.V. Lesovik, M.S. Ageev, S.V. Karatsupa

The work is devoted to studying the properties of composite bindings based on zeolite tripoli. Rock-forming mineral zeolite tripoli (clinoptilolite) due to its crystal-detailed structures will act as a «battery» of the mortar hydration system, providing a flow of the solution in the later stages of hardening and thereby creating conditions for grouting structure in the operational period.

Keywords: composite bindings, zeolite tripoli, mineral additive, structure optimization, fine-grained concrete

Происходящие в настоящее время изменения в области разработки и производства строительных материалов существенно влияют на строительную отрасль. Современные материалы и технологии позволяют достичь высоких показателей энергосбережения, помогают снизить стоимость строительства и в целом ведут к созданию более комфортной и здоровой среды обитания. Снижение себестоимости строительных материалов возможно при использовании композиционных вяжущих [1–8].

Технология производства композиционных вяжущих основана на совместном помоле кремнеземистого наполнителя, портландцемента и добавки суперпластификатора. Процессы взаимодействия между портландцементным клинкером и модификатором, протекающие в ходе совместного помола, являются весьма сложными, и даже их направление (деструкция модификатора, полимеризация модификатора) пока еще с трудом поддается прогнозированию. Эти процессы испытывают влияние практически всех технологических факторов цементного производства – от характеристик сырьевых материалов до интенсивности аспирации мельниц [9–12].

Были проведены исследования основных свойств и микроструктуры композиционных вяжущих на основе цеолитсодержащего трепела Хотынецкого месторождения для оценки возможности дальнейшего использования породы в качестве активной минеральной добавки при производстве композиционных вяжущих.

Физико-химические свойства породообразующих минералов цеолитсодержащего трепела (ЦСТ) оказывают существенное влияние на структурообразование в системах «цемент – ЦСТ – вода» и «цемент – ЦСТ – вода – ПАВ». Для изучения влияния нетрадиционного компонента наполнителя на структуру цементного камня с целью соблюдения чистоты эксперимента были синтезированы образцы КВ–60 и КВ(Д)–60, в состав которых вводилось 40 % ЦСТ. Для возможности проведения сравнительного анализа в качестве эталонных образцов были получены КВ и КВ(Д) того же состава, но при использовании в качестве наполнителя песка Нижне-Ольшанского месторождения.

При получении КВ и КВ(Д) на ЦСТ за счет повышенного водопоглощения формируется разуплотненная структура. За счет недоуплотнения избыточная вода может скапливаться, формируя крупнопоровое пространство (рис. 1,а). Подобные участки являются дефектами структуры и не входят в общую статистику пористости. Пористость исследуемых образцов более равномерная и выдержанная в небольшом интервале 10–1 мкм (в категорию пор не включены участки рыхлой структуры, заполненной продуктами гидратации).

Основная масса как КВ, так и КВ(Д) сложена равномерно распределенными реликтовыми и новообразованными фазами. Однако за счет наличия ЦСТ, по сравнению с традиционно применяемыми составами на кварцевом наполнителе (рис. 3, 4), структура более равномерно зернистая (рис. 1,б, 2,а). Это связано со спецификой минералогического состава исходной породы, который обуславливает равномерное распределение воды затворения и суперпластификатора (в КВ(Д)) как по объему сырьевой смеси, так и по структуре самих породообразующих минералов (клиноптилолита и монтмориллонита), в которых вода способна входит в структуру.

Новообразования в материалах на основе ЦСТ и кварцевого наполнителя отличаются по морфологии. В присутствии цеолитового компонента продукты гидратации имеют ярко выраженную столбчатую форму (рис. 1,в, 2,в). Их длина колеблется в интервале 3–0,2 мкм с переходом в глобулярную форму выделений. Пространство зарастает достаточно интенсивно и равномерно, что не характерно для цементного камня на основе кварцитопесчаника кварцевого песка. Вероятно, это связано с постепенным высвобождением воды из структуры клиноптилолита и монтмориллонита и капиллярного пространства породы в целом и поступлением жидкой фазы для процесса гидратации по мере связывания ее в гидросиликаты кальция.

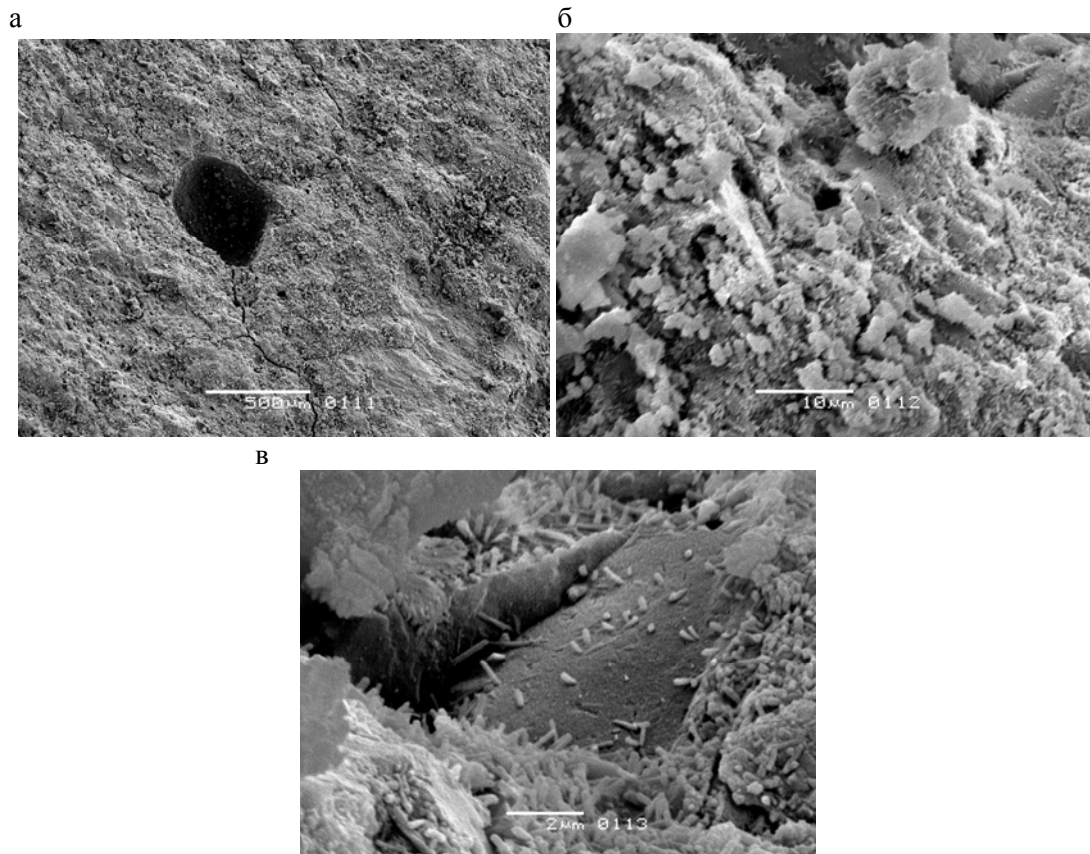


Рис. 1. KB-60 на основе цеолитсодержащего трепела

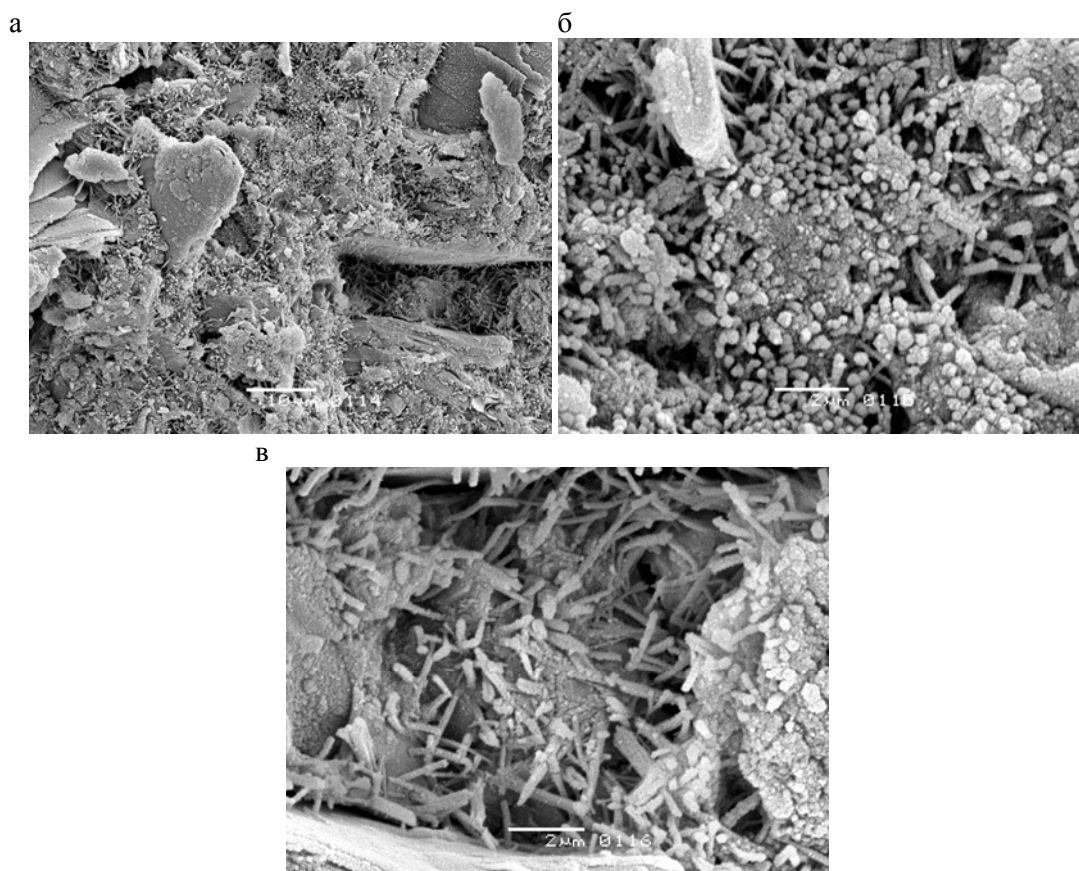


Рис. 2. KB(Д)-60 на основе цеолитсодержащего трепела

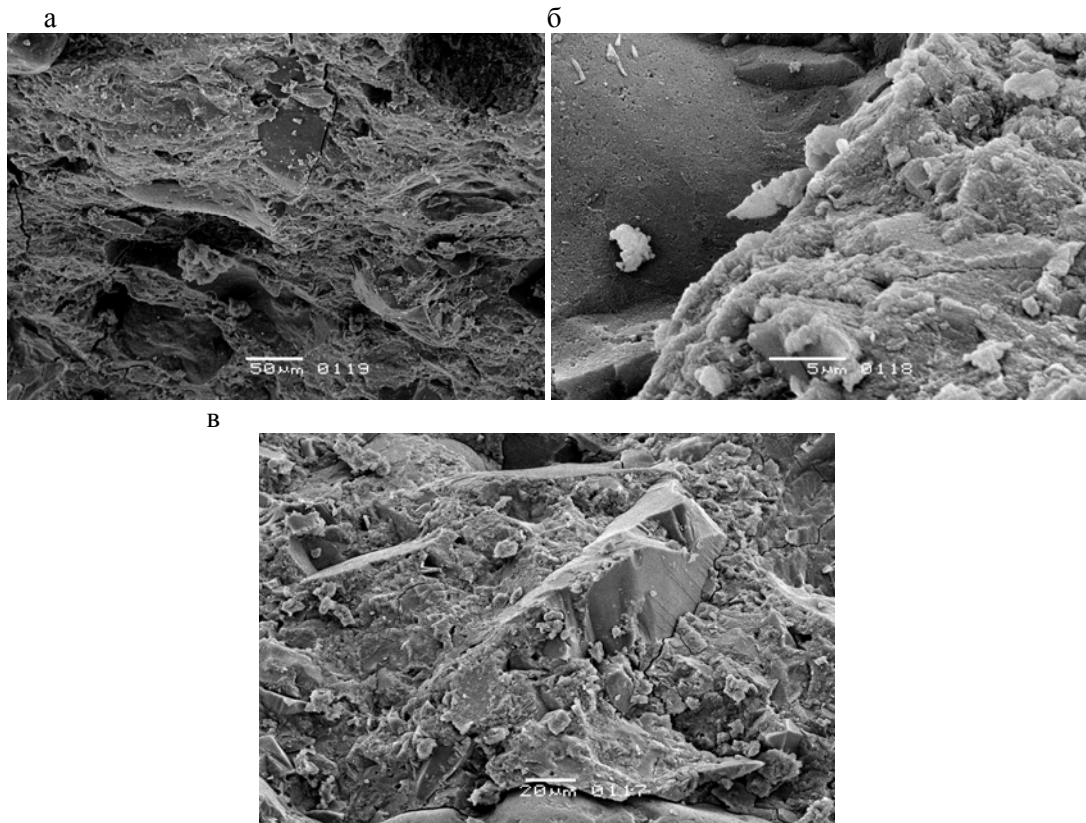


Рис. 3. KB-60 на основе кварца песков Нижне-Ольшанского месторождения

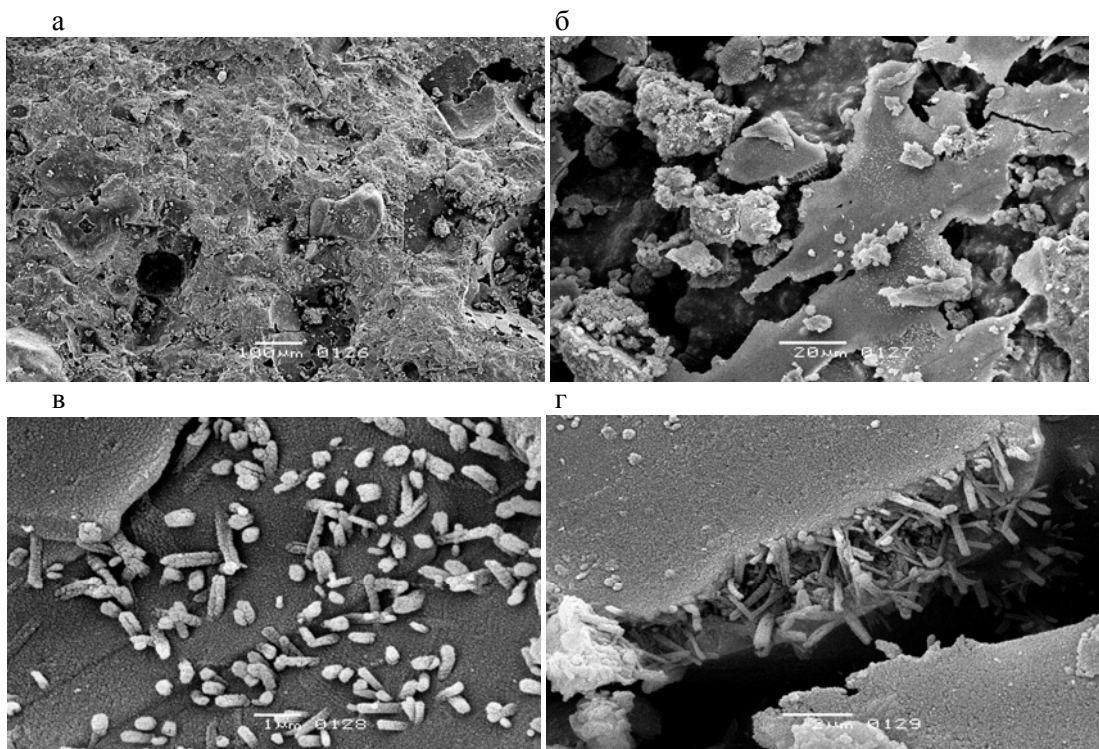


Рис. 4. KB(Д)-60 на основе кварца песков Нижне-Ольшанского месторождения

Благодаря свойству поглощать или пропускать через кристаллический каркас молекулы других химических соединений, подвижности катионов и их способности к ионному обмену, клиноптилолит выступает в качестве «аккумулятора» растворной части гидратирующей системы, обеспечивая поступление раствора на поздних сроках твердения и тем самым создавая условия для омоноличивания структуры в эксплуатационный период.

На каждой последующей стадии химического взаимодействия клинкерных минералов с водой, которая, в свою очередь, насыщается катионами, поступающими из структуры цеолита и растворимыми в данных термодинамических условиях минералов ЦСТ, минералы с высокими сорбционными характеристиками высвобождают воду, происходит миграция жидкой фазы и формируется равновесие в распределении воды в системе. Исходя из предложенной модели можно предположить, что данный процесс растянут во времени и предопределяет более равномерный и длительный рост новообразований. А рассеянные по основной массе и новообразованные кристаллами глобулы размером не более 0,1 мкм (рис. 2, б) – это не что иное, как вещество, выпавшее в осадок и способное к последующей кристаллизации в процессе эксплуатации. Это обуславливает нетипичную кинетику набора прочности материалов на основе КВ(Д) с ЦСТ.

В отличие от вышеописанной модели миграции жидкой фазы при твердении композиционного вяжущего на основе кварцевых компонентов вода в системе заполняет поровое пространство между частицами наполнителя, адсорбируясь на его поверхности. Избыток жидкой фазы, обеспечивающей удобоукладываемость смеси, как известно, обуславливает формирование пористой структуры, которая снижает прочностные характеристики цементного камня.

При использовании добавки ЦСТ избыток воды входит в структуру данной породы, тем самым снижает общую пористость цементной матрицы и в последующем обеспечивает поступление раствора для роста новообразований.

В цементном камне на основе метаморфогенного кварца новообразования в основной массе имеют глобулярный вид, покрывая зерна наполнителя. Практически все поровое пространство как в КВ, так и в КВ(Д) заполнено псевдокристаллами – упорядоченно расположенными глобулами новообразований (рис. 3, б), в отличие от разветвленных сеток из развитых кристаллов в КВ(Д) с добавкой ЦСТ (рис. 2, в). Т.е. за счет наличия компонента с высокими адсорбционными свойствами созданы достаточно благоприятные условия для правильного роста новообразованных кристаллов. При этом они не являются веществом, заполняющим лишь поровое пространство, а участвуют в создании структуры по всему объему цементного камня (рис. 2, а).

Полученные данные о зависимости характера микроструктуры от вида наполнителя позволили предположить механизм формирования структурных связей в системе «цемент – кварц – кальцит – ЦСТ – вода».

Выводы

Таким образом, породообразующий минерал цеолитсодержащего трепела (клиноптилолит) благодаря кристаллохимическим особенностям строения выступает в качестве «аккумулятора» растворной части гидратирующей системы, обеспечивая поступление раствора на поздних сроках твердения и тем самым создавая условия для омоноличивания структуры в эксплуатационный период. Это связано с постепенным высвобождением воды из структуры клиноптилолита и капиллярного пространства породы в целом и поступлением жидкой фазы для процесса гидратации по мере связывания ее в гидросиликаты кальция. Присутствие кальцита способствует поддержанию щелочности среды, которая снижается за счет высокой катионной емкости клиноптилолита.

На каждой последующей стадии химического взаимодействия клинкерных минералов с водой, которая, в свою очередь, насыщается катионами, поступающими из структуры цеолита и растворимыми в данных термодинамических условиях минералов ЦСТ, минералы с высокими сорбционными характеристиками высвобождают воду, происходит миграция жидкой фазы и формируется равновесие в распределении

воды в системе. Данный процесс растянут во времени и предопределяет более равномерный и длительный рост новообразований, что подтверждается наличием рассеянного по основной массе новообразованных кристаллов и псевдокристаллов глобулярного аморфного вещества. Кроме того, избыток воды концентрируется не в межзерновом пространстве, как это происходит в случае использования КВ(Д) на основе кварцевого наполнителя, а входит в структуру клиноптилолита, тем самым снижает общую пористость цементной матрицы и впоследствии обеспечивает поступление раствора для роста новообразований.

Список литературы

1. Lesovik, V.S. Geonics. Subject and objectives / V.S. Lesovik. – Belgorod State Technological University n. a. V.G. Shoukhov, 2012. – P. 100.
2. Organic-Mineral Modifier On The Basis Of Volcanogenic-Sedimentary Rocks / R.V. Lesovik, S.I. Leshchev, M.S. Ageeva, S.V. Karatsupa, N.I. Alfimova // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). – 2015. – Vol. 10. – № 24. – P. 45131–45136.
3. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.А. Яковлев, М.С. Шейченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 1. – С. 30–33.
4. Шейченко, М.С. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнетных отходов Ковдорского месторождения / М.С. Шейченко, В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – №1. – С. 10–14.
5. Lesovik, V.S. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement / V.S. Lesovik, N.I. Alfimova, P.V. Trunov // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. (11). – P. 745–748
6. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel // V.S. Lesovik, N.I. Alfimova, A.V. Savin, A.V. Ginzburg, N.N. Shapovalov // World Applied Sciences Journal. – 2013. – 24 (12). – P. 1691–1695.
7. Сулейманова, Л.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства / Л.А. Сулейманова, К.А. Кара. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 150 с.
8. Lesovik, R.V. Development of compacted concrete using the technogeneous raw materials for road construction / R.V. Lesovik, V.V. Strokova, M.S. Vorsina // Building materials. – 2004. – Vol. 9. – P. 8–10.
9. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders / N.I. Alfimova, M.S. Sheychenko, S.V. Karatsupa, E.A. Yakovlev, A.S. Kolomatskiy, N.N. Shapovalov // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9 (11). – P. 779–783.
10. The modified composite slag-cement binder / M.S. Ageeva, D.M. Sopin, G.A. Lesovik, A.A. Metrohin, N.V. Kalashnikov, V.A. Bogusevich // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. – № 8. – P. 1381–1385.
11. Характеристики песков с учетом их применения в композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонах / Л.Н. Соловьева, Ю.Н. Огурцова, А.И. Бондаренко, А.Н. Боцман // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – №2. – С. 31–33.
12. Application of IR-spectroscopy for study of aluminosilicate raw materials / M.S. Lebedev, I.V. Zhernovsky, V.V. Strokova, E.V. Fomina, N.I. Kozhukhova // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 496–500. – P. 96–101.

References

1. Lesovik, V.S. Geonics. Subject and objectives / V.S. Lesovik. – Belgorod State Technological University n. a. V.G. Shoukhov, 2012. – P. 100.
2. Organic-Mineral Modifier On The Basis Of Volcanogenic-Sedimentary Rocks / R.V. Lesovik, S.I. Leshchev, M.S. Ageeva, S.V. Karatsupa, N.I. Alfimova // International

Journal of Applied Engineering Research (IJAER). – 2015. – Vol. 10. – № 24. – P. 45131–45136.

3. To the problem of increasing the efficiency of composite binders / V.S. Lesovik, N.I. Alfimova, E.A. Yakovlev, M.S. Sheichenko // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. – 2009. – № 1. – P.30–33.

4. Sachenko, M.S. Composite binders with the use of high-mg wastes of Kovdor Deposit / M.S. Sachenko, V.S. Lesovik, N.I. Alfimova// Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov – 2011. – №1. – P. 10–14.

5. Lesovik, V.S. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement / V.S. Lesovik, N.I. Alfimova, P.V. Trunov // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9. (11). – P. 745–748

6. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel // V.S. Lesovik, N.I. Alfimova, A.V. Savin, A.V. Ginzburg, N.N. Shapovalov // World Applied Sciences Journal. – 2013. – 24 (12). – P. 1691–1695.

7. Suleymanova, L.A. Aerated concrete on composite binders for monolithic construction / L.A. Suleymanova, K.A. Kara // Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. – 2011. – Pp: 150.

8. Lesovik, R.V. Development of compacted concrete using the technogeneous raw materials for road construction / R.V. Lesovik, V.V. Strokova, M.S. Vorsina // Building materials. – 2004. – Vol. 9. – P. 8–10.

9. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders / N.I. Alfimova, M.S. Sheychenko, S.V. Karatsupa, E.A. Yakovlev, A.S. Kolomatskiy, N.N. Shapovalov // Research Journal of Applied Sciences.– 2014. – Vol. 9 (11). – P. 779–783.

10. The modified composite slag-cement binder / M.S. Ageeva, D.M. Sopin, G.A. Lesovik, A.A. Metrohin, N.V. Kalashnikov, V.A. Bogusevich // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.– 2014. – Vol. 9. – № 8. – P. 1381–1385.

11. Characteristics of sand with regard to their use in composite binders and fine concrete / L.N. Solovieva, Y.N. Ogurtsova, A.I. Bondarenko, A.N. Botsman // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. – 2012. – №2. – P. 31–33.

12. Application of IR-spectroscopy for study of aluminosilicate raw materials / M.S. Lebedev, I.V. Zhernovsky, V.V. Strokova, E.V. Fomina, N.I. Kozhukhova // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 496–500. – P. 96–101.

УДК 691.327:539.4

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

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

Тамбовцева Елена Александровна,
аспирант

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

Tambovzeva Elena Aleksandrovna,
Postgraduate student

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

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

Yerofeev Vladimir Trofymovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of
department «Building materials and
technology»

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ДОЗИРОВАНИЯ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

И.Н. Максимова, В.Т. Ерофеев, Н.И. Макридин, Е.А. Тамбовцева

Приведены экспериментально полученные кинетические зависимости влияния процедуры дозирования суперпластификатора на фазовый состав и параметры структурной механики разрушения сравниваемых серий образцов цементного камня.

Ключевые слова: цементный камень, суперпластификатор, прочность, акустическая эмиссия, коэффициент интенсивности напряжений, энергия разрушения, сила продвижения трещины

EFFECTS SUPERPLASTICIZERS DOSING ON THE PHASE STRUCTURE AND PARAMETERS OF STRUCTURAL FRACTURE MECHANICS OF CEMENT STONE OF DIFFERENT AGE

I.N. Maksimova, V.T. Erofeev, N.I. Makridin, E.A. Tambovzeva

The article presents experimentally obtained kinetic effect of superplasticizer dosing procedure on the phase composition and structural parameters of fracture mechanics of compared series of cement stone samples.

Keywords: cement stone, superplasticize, strength, acoustic emission, stress intensity factor, fracture energy, the power of cracks promotion

Постулируя положение о том, что любое химическое взаимодействие твердого тела начинается с его поверхности, можно высказать предположение, что изменяя условия химического взаимодействия в цементно-водной дисперсной системе за счет технологического процедурного фактора дозирования поверхностно-активного компо-

нента цементной сырьевой композиции, то есть суперпластификатора (СП) С-3, можно в определенных пределах управлять химическим процессом взаимодействия и формирования фазового состава гидратных новообразований цементного камня во времени и пространстве. Вместе с тем комплексная методология оценки результатов химического взаимодействия по кинетическому характеру изменения структурно-механических параметров модифицированных гидратных структур цементного камня разной процедуры модифицирования позволяет получить новые более дифференцированные характеристики, позволяющие более надежно судить о механическом поведении материала под нагрузкой, что, в свою очередь, позволяет переходить от простого определения параметров качества к активному управлению качеством материала.

С целью определения характера влияния технологической процедуры дозирования СП С-3 на кинетический процесс изменения фазового состава микроструктуры гидратных новообразований и параметры структурной механики разрушения цементного камня при силовом воздействии было принято двухстадийное пятиминутное перемешивание и дозирование воды и СП при приготовлении цементного теста. Для сравнительных комплексных испытаний и анализа были изготовлены две серии опытных образцов цементного камня типа I по ГОСТ 29167 размером 4×4×16 см на основе бездобавочного сульфатостойкого портландцемента марки 400 Вольского завода с нормальной густотой 24 %.

Формование образцов, условия твердения и оценки контролируемых параметров определялись экспериментальным путем в соответствии с [1–4].

В табл. 1 приведены характеристики состава, процедуры затворения водой и дозирования добавки СП в цементное тесто.

Т а б л и ц а 1

Процедура приготовления цементного теста

Серия образцов	В/Ц	СП С-3, % по массе	Процедура приготовления цементного теста
3	0,24	0,5	Ц+(0,12H ₂ O+0,25СП)+(0,12H ₂ O+0,25СП)
4	0,24	0,5	Ц+(0,12H ₂ O)+(0,12H ₂ O+0,5СП)

В табл. 2 на основании анализа рентгенограмм представлен предполагаемый фазовый состав и структура фаз цементного камня образцов серии 3 и 4 в возрасте 420 суток. На полученных ионизационных рентгенограммах образцов этих серий линии размыты, малоинтенсивные вследствие наложения линий разных фаз друг на друга, слабой закристаллизованности образовавшихся фаз и блочной структуры фаз. Это позволяет считать, что кристаллические решетки образовавшихся фаз находятся в неравновесном напряженном состоянии [5].

Т а б л и ц а 2

Фазовый состав и структура фаз цементного камня

Серия образцов	СП С-3, % по массе	Химический состав фаз	Характер структуры фаз
3	0,5	С-S-H(II) тоберморит 11Å CSH(A) C ₃ SH ₂ C ₄ FH ₁₃ C ₃ FH ₆ 3CaO·Al ₂ O ₃ ·CaCO ₃ ·12H ₂ O	волокна волокна иглы иглы гексагональные пластинки округлые изотропные зерна сферолиты
4	0,5	тоберморит 12Å тоберморит 11Å С-S-H(A) C ₃ SH ₂ ксонолит C ₄ FH ₁₃ C ₃ FH ₆	волокна волокна иглы иглы волокнистые агрегаты гексагональные пластинки округлые изотропные зерна

На рис. 1 приведены рентгенограммы опытных образцов сравниваемых серий в возрасте цементного камня 18 лет. Ранее [6] было показано, что концентрация новообразований цементного камня за 18 лет твердения в образцах серий 3 и 4 составляла, соответственно, 36,9 и 42,2 %. Концентрация новообразований подсчитывалась по формуле

$$K_n = \frac{W_n \left(\frac{4}{\rho_{\text{ц}}} + 0,75 \right)}{\frac{B}{\text{Ц}} + \frac{4W_n}{\rho_{\text{ц}}}},$$

где K_n – концентрация новообразований в объеме, вычисленном за вычетом объема негидратированного цемента, $\text{см}^3/\text{см}^3$; $\rho_{\text{ц}}$ – плотность цемента, $\text{г}/\text{см}^3$; W_n – количество неиспаряемой воды в долях единицы.

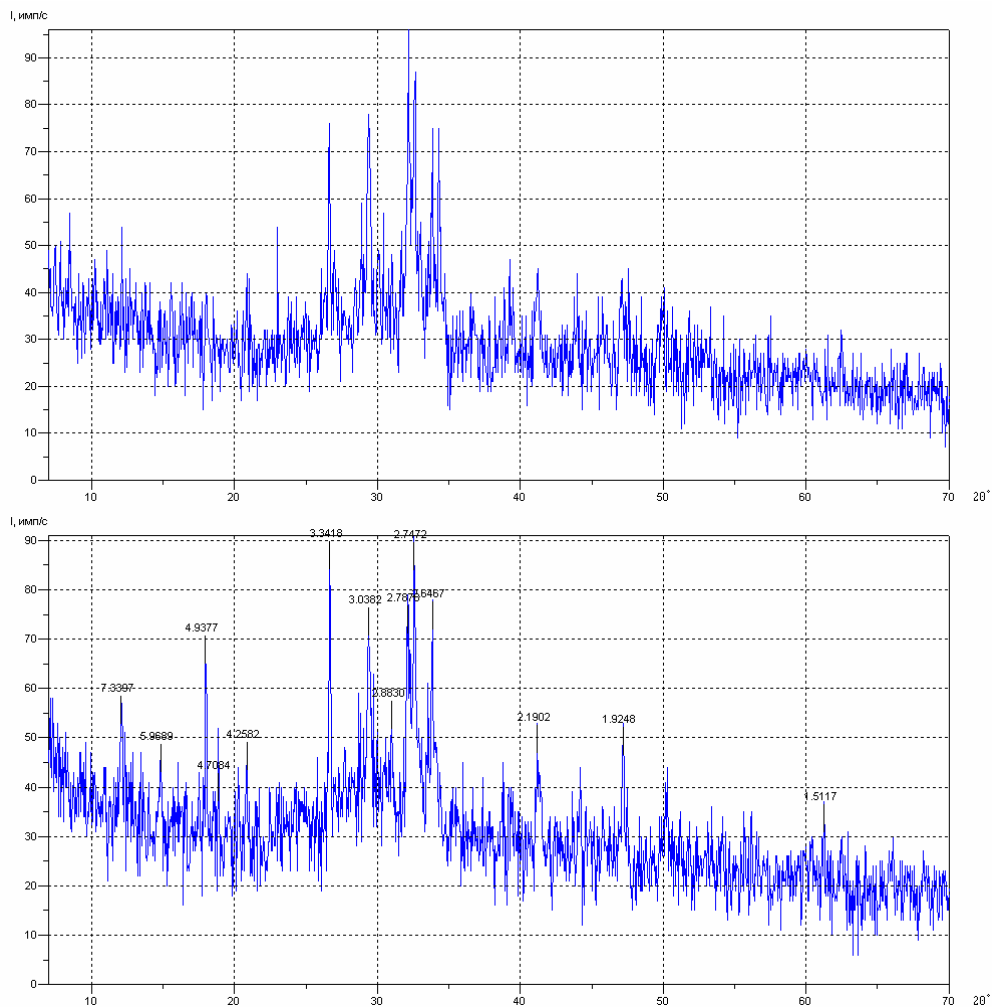


Рис. 1. Рентгенограммы опытных образцов серий 3 (сверху) и 4 (внизу)

При анализе рентгенограмм составов цементного камня серий 3 и 4, приведенных на рис. 1, подтверждено, что при изменении условий адсорбции СП, особенно высокомолекулярных, они оказывают влияние на морфологию гидратных фаз. В результате изменяется не только форма кристаллов, но и замедляется их рост.

Характерной особенностью образцов серий 3 и 4 с малым содержанием СП С-3 в интервале углов $15\text{--}30^\circ$ является то, что на их рентгенограммах присутствуют

отражения, характерные для этtringита (3,85 Å и 4,69 Å) и C_3AH_6 (3,37 Å) – особенно хорошо сформировано на образцах серии 4. Возможно, что дозировка малого количества чистой воды (состав 4) на первой стадии смешивания цементного теста способствует активации формирования стабильной фазы C_3AH_6 , а последующая дозировка оставшейся воды с добавкой С-3 не оказывает влияния на состояние фазы C_3AH_6 в дальнейшем.

Это является весьма положительным фактором с точки зрения формирования в цементной системе стабильных гидроалюминатных структур, что свидетельствует о возможности стабилизации этtringита в присутствии добавки С-3 в период до 18 лет. Присутствие и интенсивность отражений, характерных для моногидросульфалюмината кальция, в образцах 3 и 4 также свидетельствует о стабильном присутствии этой фазы в течение длительного периода наряду с этtringитом.

В данной работе представлены результаты экспериментальной оценки и идентификации процесса разрушения цементного камня на образцах типа 1 по ГОСТ 29167 при неравновесных механических испытаниях по суммарному энергетическому параметру акустической эмиссии ($\sum \mathcal{E}_{АЭ}$, B^2/cm^2), который регистрировали с помощью акустико-эмиссионного устройства [7]. Параметр акустической эмиссии $\sum \mathcal{E}_{АЭ}$ служит непосредственной мерой как критического коэффициента интенсивности напряжения K_{Ic} , так и критической интенсивности высвобождения энергии или силы продвижения трещины G_{Ic} , и в этом заключаются исключительные возможности акустической эмиссии (АЭ) как метода прогнозирования разрушения.

На рис. 2 и 3 представлены экспериментальные графические кинетические зависимости 1–3 суммарной энергии ультразвуковых импульсов акустической эмиссии на кривой нагружения опытных образцов цементного камня типа I соответственно в возрасте 28 и 420 суток и 18 лет.

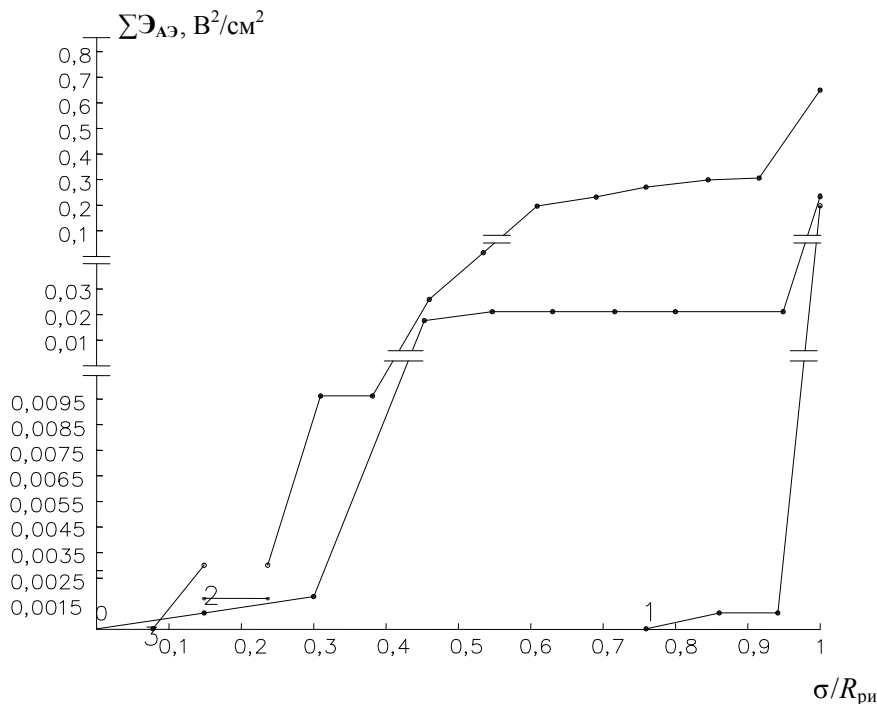


Рис. 2. Зависимости удельной суммарной энергии акустической эмиссии ($\sum \mathcal{E}_{АЭ}$, B^2/cm^2) от интенсивности напряжения ($\sigma/R_{пн}$) для образцов цементного камня серии 3: 1 – в возрасте 28 суток; 2 – в возрасте 420 суток; 3 – в возрасте 18 лет

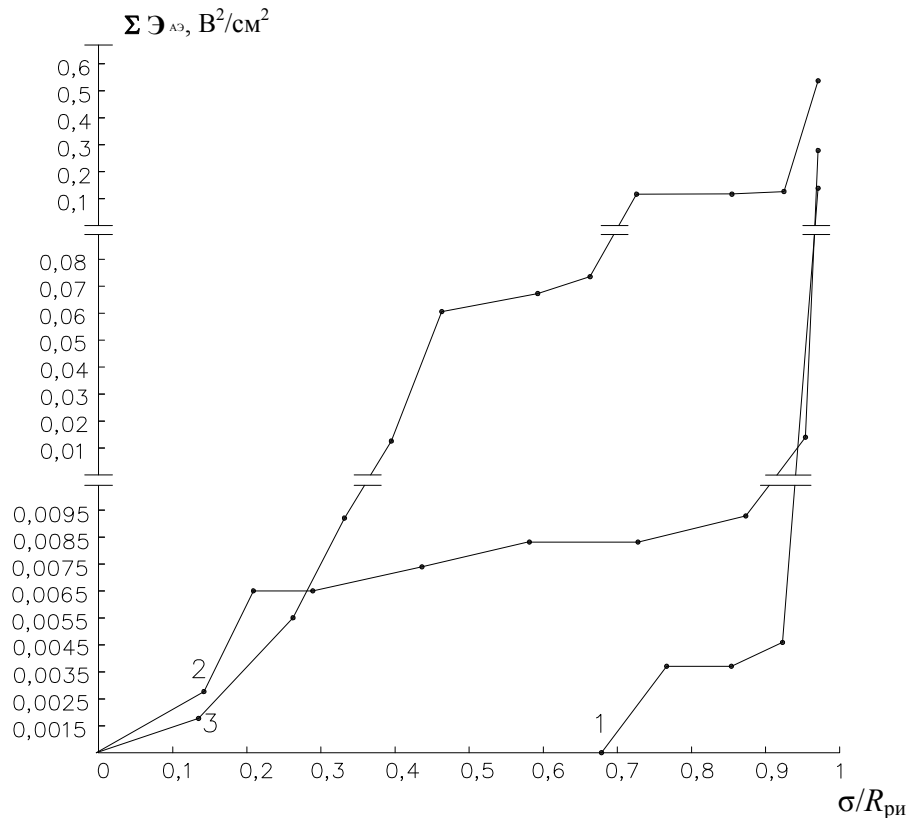


Рис. 3. Зависимости удельной суммарной энергии акустической эмиссии ($\Sigma Э_{АЭ}$, В²/см²) от интенсивности напряжения ($\sigma/R_{пр}$) для образцов цементного камня серии 4: 1 – в возрасте 28 суток; 2 – в возрасте 420 суток; 3 – в возрасте 18 лет

Из анализа зависимостей 1–3 рис. 2 и 3 следует, что при прочих равных условиях регистрации суммарной энергии АЭ от уровня или интенсивности нагружения опытных образцов цементного камня интенсивность энергии АЭ в возрасте 28 суток значительно ниже, чем интенсивность в возрасте 420 суток и, тем более, в возрасте 18 лет, что, естественно, обусловлено как различной степенью гидратации цемента, так и упрочнением структуры во времени, связанным с переходом части адгезионных контактов электромагнитной и электростатической природы в кристаллизационные связи валентной природы.

Стохастичность АЭ на этапах нагружения обусловлена неравновесными фазовыми переходами, соответствующими особой точке (точке бифуркации), при достижении которой скачкообразно изменяются свойства из-за самоорганизации процесса, и тем, что в линейно-упругом материале сингулярное поле напряжений вблизи вершины острой трещины характеризуется коэффициентами интенсивности напряжения K_1 , K_2 и K_3 , отражающими различные пути раскрытия трещин разрушения.

В табл. 3 приведены основные свойства и параметры структурной механики разрушения цементного камня сравниваемых серий в возрасте 28 и 420 суток и 18 лет, отражающие влияние процедуры дозирования добавки СП С-3 в названном интервале времени.

При этом критическую интенсивность высвобождения энергии, или силу продвижения трещины G_{1c} , Н/м, определяли по формуле $G_{1c} = K_{1c}^2/E_d$ [8], а энергию разрушения G_{1c} , Дж/м², – по формуле $G_{1c} = A_c/F$ [9], где A_c – полная работа разрушения, Дж; F – площадь разрушения, м².

Основные свойства и параметры структурной механики разрушения цементного камня

Параметры качества цементного камня	Показатели качества сравниваемых серий образцов в возрасте		
	28 сут	420 сут	18 лет
Серия 3			
Плотность, кг/м ³	2110	2100	1991
Прочность при сжатии, $R_{сж}$, МПа	94,1	103,2	104,7
Прочность на растяжение при изгибе, R_{bf} , МПа	3,98	6,9	6,18
Коэффициент интенсивности напряжений, K_{1c} , МПа·м ^{0,5}	0,392	0,677	0,606
Энергия разрушения, G_{1c} , Дж/м ²	–	94,2	159,6
Суммарная удельная энергия АЭ, $\sum \mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,102	0,143	0,533
Сила продвижения трещины, G_{1c} , Н/м	8,6	23,47	18,54
Серия 4			
Плотность, кг/м ³	2093	2091	1882
Прочность при сжатии, $R_{сж}$, МПа	100,4	108,0	119,5
Прочность на растяжение при изгибе, R_{bf} , МПа	4,0	7,46	7,0
Коэффициент интенсивности напряжений, K_{1c} , МПа·м ^{0,5}	0,393	0,732	0,697
Энергия разрушения, G_{1c} , Дж/м ²	–	90,6	156,9
Суммарная удельная энергия АЭ, $\sum \mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,114	0,278	0,532
Сила продвижения трещины, G_{1c} , Н/м	8,13	26,22	21,49

На основании проведенных исследований можно констатировать:

1. Методологический подход комплексных испытаний с оценкой на каждом опытном образце влияния процедуры дозирования СП на фазовый состав и микроструктуру фаз, механические свойства и параметры трещиностойкости цементного камня с позиции структурной механики разрушения материала во временном интервале от 28 суток до 18 лет позволяет получать более достоверные и надежные результаты контролируемых сравнительных характеристик и сформулировать ряд выводов по результатам исследования длительной конструкционной прочности модифицированной гидратационной дисперсно-кристаллитной структуры матричной фазы высокопрочных бетонов.

2. Дозировка СП С-3 со второй частью воды затворения при изготовлении цементного теста (образцы серии 4) приводит к заметному улучшению длительной конструкционной прочности цементного камня как комплексной характеристики, включающей сочетание критериев прочности, надежности и долговечности. При этом улучшение контролируемых сравнительных параметров качества конструкционной прочности образцов серии 4 относительно образцов серии 3 в возрасте 420 суток и 18 лет составляло, соответственно: прочности при сжатии $R_{сж}$ – на 4,65 и 14,1 %; прочности на растяжение при изгибе R_{bf} – на 8,1 и 13,3 %; коэффициента интенсивности напряжений K_{1c} – на 8,1 и 15,0 %; силы продвижения трещины G_{1c} – на 11,7 и 15,9 %.

3. Влияя на начальные адсорбционные процессы химико-технологическими приемами приготовления и модифицирования цементных дисперсных систем, можно изменять условия формирования структуры и свойств гидросиликатов кальция и тем самым оптимизировать технические характеристики цементных композитных материалов. Результаты данного исследования позволяют сформулировать технологический принцип модифицирования цементной системы: на начальном этапе приготовления цементного теста ничто не должно мешать взаимодействию цемента с водой.

Список литературы

1. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
2. ГОСТ 53231–2008. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
3. ГОСТ 24452–80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
4. ГОСТ 29167–91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
5. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных композитов / Н.И. Макридин [и др.]; под ред. В. И. Соломатова. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2001. – 280 с.
6. Макридин, Н.И. Долговременная прочность модифицированной структуры цементного камня. Часть 1 / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, Ю.В. Овсяюкова // Строительные материалы. – 2010. – № 10. – С. 74–77.
7. Макридин, Н.И. Метод акустической эмиссии в строительном материаловедении / Н.И. Макридин, Е.В. Королев, И.Н. Максимова // Строительные материалы. – 2007. – № 3. – С. 26–29.
8. Экспериментальное определение физико-механических свойств и параметров механики разрушения ультравысокопрочных бетонов / Н.И. Карпенко, Ю.В. Зайцев, Г.Э. Окольников, А.А. Андрианов // Научные труды РААСН. Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2011 году. – М. – Орел, 2011. – С. 242–248.
9. Макридин, Н.И. Долговременная прочность модифицированной структуры цементного камня. Часть 2 / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, Ю.В. Овсяюкова // Строительные материалы. – 2011. – № 7. – С. 72–75.

References

1. GOST 10180–2012. Concretes. Methods for determining the strength of control samples.
2. GOST 53231–2008. Concretes. Monitoring and evaluation of the strength of Regulation.
3. GOST 24452–80. Concretes. Methods for determining the prism strength, elastic modulus and Poisson's ratio.
4. GOST 29167–91. Concretes. Methods for determination of fracture toughness properties (toughness) under static loading.
5. Structure, deformability, strength and failure criterion of cement composites / N.I. Makridin [etc.]; ed. by V. I. Solomatov. – Saratov: Pub. Sarat. un-ta, 2001. – 280 p.
6. Makridin, N. I. Long-term strength of the modified cement stone structure. Part 1 / N.I. Makridin, I.N. Maksimova, Yu. V. Ovsyukova // Building materials. – 2010. – № 10. – P. 74–77.
7. Makridin, N.I. Acoustic emission method in construction materials / N.I. Makridin, E.V. Korolev, I.N. Maksimova // Building materials. – 2007. – № 3. – P. 26–29.
8. Experimental determination of physical and mechanical properties and fracture mechanics parameters of concrete ultraviolence / N.I. Karpenko, Yu.V. Zayzev, G.E. Okol'nikova, A.A. Andrianov // Scientific works RAASN. Fundamental research] research on the development of architecture, urban planning and construction industry of the Russian Federation in 2011. – Moskva – Orel, 2011. – P. 242–248.
9. Makridin, N.I. Long-term strength of the modified cement stone structure. Part 2 / N. I. Makridin, I. N. Maksimova, Yu. V. Ovsyukova // Building materials. – 2011. – № 7. – P. 72–75.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

Полубояринов Павел Аркадиевич,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры «Физика и химия»
E-mail: office@pguas.ru

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Poluboyarinov Pavel Arkadievich,
Candidate of agricultural Sciences,
Associate Professor of the Department
«Physics and chemistry»
E-mail: office@pguas.ru

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

ДОБАВКА НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО

В.И. Логанина, П.А. Полубояринов, А.Д. Рыжов

Приведены сведения о свойствах добавки на основе аморфных алюмосиликатов. Показано распределение центров адсорбции на поверхности добавки. Отмечено влияние добавки на прочность известковых композитов.

Ключевые слова: добавка на основе аморфных алюмосиликатов, свойства, активность, распределение центров адсорбции, известковые композиции, прочность

ADDITIVE ON THE BASIS OF SYNTHETIC SILICA-ALUMINA FOR LIME COMPOSITE BINDER

V.I. Loganina, P.A. Poluboyarinov, A.D. Ryzhov

Some information about the properties of on additive based on amorphous silica is given. The distribution of adsorption centers on the surfaces of the additive is shown. The effect of the additives on the strength of lime composites is found.

Keywords: additive based on amorphous aluminosilicates properties, activity distribution of adsorption centers, limy compositions, strength

Проведенные ранее исследования подтвердили возможность регулирования структуры и свойств известковых композитов путем введения в их рецептуру добавок на основе синтезированных гидросиликатов, алюмосиликатов, золя кремниевой кислоты, органоминеральных добавок [1–4].

Применение в рецептуре известковых отделочных составов таких добавок способствует повышению прочности, водостойкости отделочных покрытий.

Нами предложено применять в известковых композитах добавку, полученную синтезом, заключающимся в добавлении микродисперсных порошков алюминия в натриевое жидкое стекло [6]. В настоящее время добавки, содержащие аморфные алюмосиликаты, применяются как ионообменники (например, для очистки воды), как адсорбенты в хроматографии, при очистке, осушке и разделении газов, а также при каталитическом крекинге нефтепродуктов [7–9].

Синтезируемая добавка представляет собой легкий порошок светло-серого цвета (размер частиц 2–20 мкм), с насыпной плотностью $0,55 \pm 0,05 \text{ г/см}^3$. Установлено, что структура синтезируемой добавки представлена образованиями разной формы (пластинчатой и игольчатой) размерами от 0,11 до 10,49 мкм (рис. 1).

Химический состав добавки приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Химический состав добавки

Название спектра	C	O	F	Na	Al	Si
1	2	3	4	5	6	7
Спектр 1	12.22	34.86	0.28	6.24	28.13	17.93
1	2	3	4	5	6	7
Спектр 2	12.12	40.38	0.51	8.03	20.17	18.55
Спектр 3	13.61	35.63	0.36	6.15	24.04	19.94

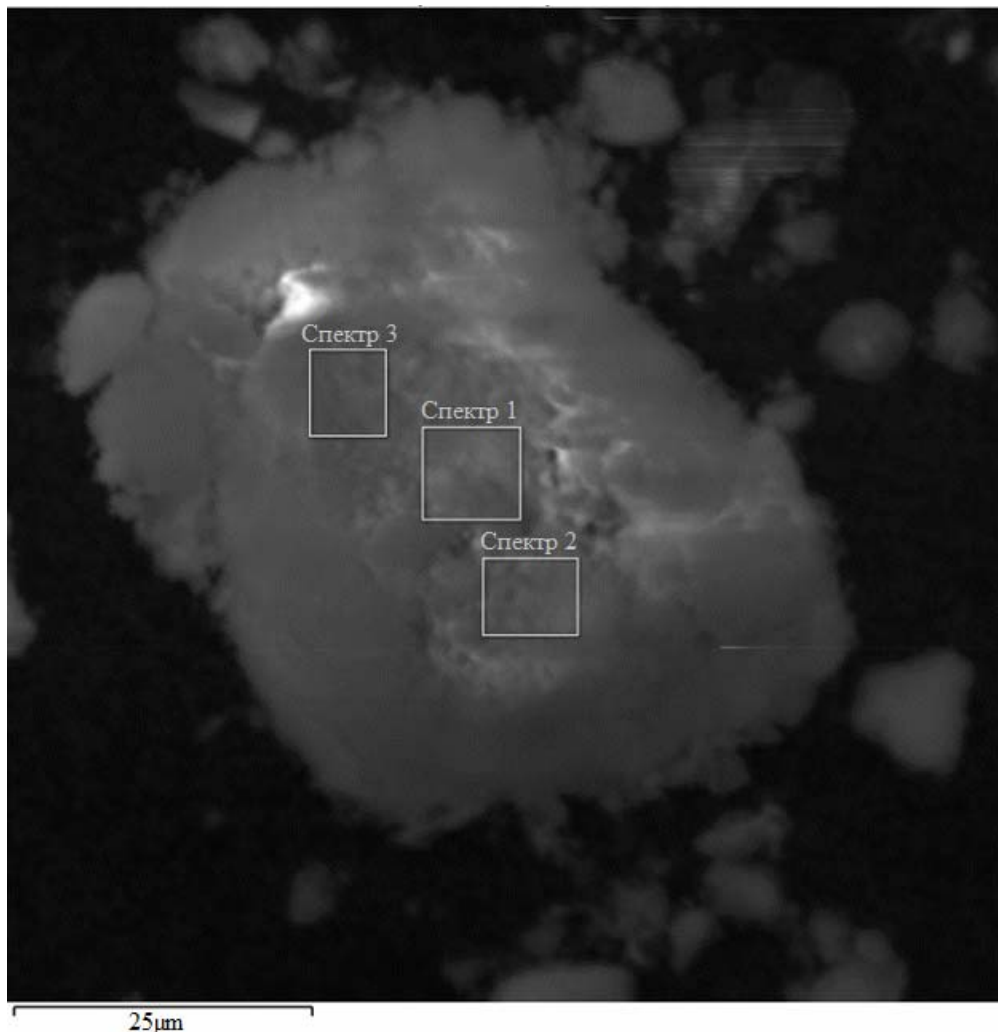


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок добавки

Доля примесей Mg, S, Cl, K, Ca, Fe, Cu не превышает 0,1 %.

При оценке свойств добавки был проведен анализ гранулометрического состава с помощью прибора Fritsch particlesizer Analysette 22. Полученные данные показывают, что 2,48 % добавки составляют частицы размером 0,010–2,0 мкм, содержание частиц размером 200,000–300,000 мкм – 0,07 % (табл. 2).

Гранулометрический состав добавки

Фракция, мкм	Процентное содержание, %
1	2
0,01–2,0	2,48
1	2
2,0–5,0	7,50
5,0–10,0	10,81
10,0–20,0	13,35
20,0–45,0	18,60
45,0–80,0	17,92
80,0–100,0	8,20
100,0–200,0	21,08
200,0–300,0	0,07

Большинство процессов, протекающих при взаимодействии синтезируемой добавки с вяжущим, носят локальный характер и во многом определяются энергетическими параметрами конкретных активных центров [7].

В связи с этим особую важность приобретает исследование спектра распределения центров адсорбции по кислотно-основному типу.

Для выявления распределения и концентрации кислотно-основных центров (активных центров) на поверхности частиц добавки использовался индикаторный метод адсорбции индикаторов с различными значениями рКа.

Количественное определение центров адсорбции (q_{pKa^x} , мг-экв/г или мг-экв/м²) данной кислотной силы проводилось фотометрическим методом. Данная методика позволяет проводить количественное определение суммарной кислотности по Льюису и Бренстеду с дифференциацией реакционных центров по типу и силе в зависимости от рКа^x применяемого индикатора.

При проведении испытаний применялись следующие индикаторы: бриллиантовый зеленый (рКа=+1,5), фуксин (рКа=+2,1), метиловый оранжевый (рКа=+3,46), бромфеноловый синий (рКа=+4,1), бромкрезоловый зеленый (рКа=+4,7), бромкрезоловый пурпурный (рКа=+6,4), бромтимоловый синий (рКа=+7,3), тимоловый синий (рКа=+8,8), нильский голубой (рКа=+10,5) и этиленгликоль (рКа=+14,2).

Исследования производились в области бренстедовских кислотных (рКа от 0 до 7) и основных (рКа от 7 до 13) центров и льюисовских кислотных (рКа>13) центров. Значению рКа = +7 соответствуют центры нейтрального характера. Увеличение значений рКа характеризует повышение донорных свойств атомов металлов, уменьшение – акцепторных.

На основании полученных данных строилась кривая распределения кислотно-основных центров на поверхности синтезированной добавки в координатах $q_{pKa^x} = f(pKa^x)$ (рис. 2).

Установлено, что кислотно-основный центр поверхности образца добавки характеризуется преобладанием центров рКа= +4,7, рКа= +6,4. Суммарное количество кислотных и основных центров приведено в табл. 3.

Предложено изготавливать известковое композиционное вяжущее (ИКВ) с применением синтезированной добавки. Ниже приведены результаты исследований свойств композитов с применением ИКВ. В эксперименте использовали известь-пушонку, приготовленную из извести активностью 84 %.

Т а б л и ц а 3

Суммарное количество активных центров

Области кислотных центров q_{pKa} , ммоль/г		Области основных центров q_{pKa} , ммоль/г	
Σ	53,72	Σ	7,70

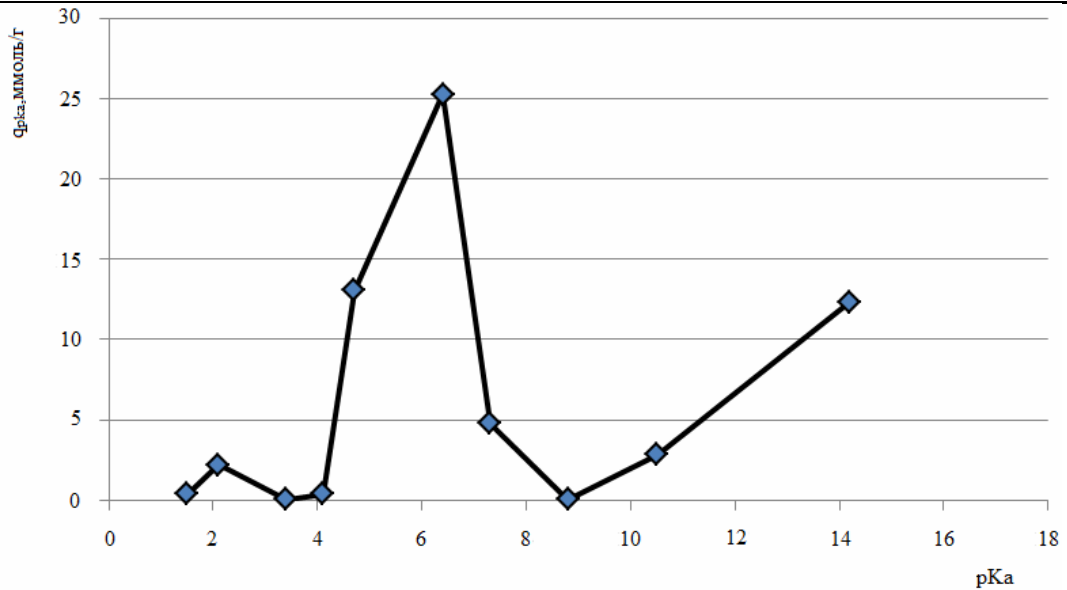


Рис. 2. Кривая распределения кислотно-основных центров

Водоизвестковое отношение В/И составляло $V/I = 1,0$. Образцы твердели в воздушно-сухих условиях при температуре $18-20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $60-70\%$.

При содержании в композиционном вяжущем добавки алюмосиликатов $5-10\%$ от массы извести прочность композита в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения составляет $R_{сж} = 2,13\text{МПа}$ (при содержании добавки 5%) и $R_{сж} = 2,63\text{МПа}$ (при содержании добавки 10%), в то время как контрольного на основе состава без добавки – $1,0\text{МПа}$.

Установлено, что в контрольных образцах в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения количество свободной извести составляет $47,67\%$, а с применением синтезированных алюмосиликатов – $31,41\%$.

Добавка способствует повышению водостойкости известковых композитов. Коэффициент размягчения составляет $K_{разм} = 0,72$, в то время как у контрольного – $0,37$.

Список литературы

1. Повышение водостойкости покрытий на основе известковых отделочных составов / В.И.Логанина, Л.В.Макарова, С.Н.Кислицына, К.А.Сергеева // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 1. – С. 41–46.
2. Известковые отделочные составы с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И.Логанина, С.Н.Кислицына, И.В.Жерновский, М.А.Садовникова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 55–57.
3. Логанина, В.И. Влияние поверхностной активности наполнителя на структурообразование отделочных покрытий на основе сухих смесей / В.И.Логанина, И.С. Великанова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2005. – № 5. – С. 58–60.
4. Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками / В.И. Логанина, Л.В.Макарова, Р.В.Тарасов, О.А.Давыдова // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – № 2. – С. 53–57.
5. Пат. 2008118244/15 Российская Федерация, 07.05.2008. Способ получения алюмосиликатного адсорбента / А.С. Шилина, В.К. Милинчук. – № 2 402 486.2010. Бюл. № 30
6. Логанина, В.И. Структура и свойства синтезированной добавки на основе аморфных алюмосиликатов для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов, И.В. Жерновский // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 25–28.

7. Pat. US 4289653, B01J21/12; B01J23/85; C10G45/08; (IPC1-7): B01J21/12. Co-gel catalyst manufacture / Jaffe, Joseph (CA), assignee Chevron Research Company (CA)
8. Пат. 2044689 Российская Федерация, C01B33/38. Способ получения алюмосиликата натрия / В.П. Харитонов (RU), Г.Н. Алексеева (RU), А.А. Гнездинов (RU), Н.Ф. Савина (RU), В.М. Ковалев (RU); патентообладатель Пермский завод по синтетическим моющим средствам. – 3 с.
9. Пат. 2463108 Российская Федерация, B01J 21/12, B01J 20/16, B01J 29/06, B01J 29/89, C01B 39/02, C01B 39/18. Композиция аморфного алюмосиликата и способ получения и использования такой композиции / Аккерман Расселл Крэйг (US), Мишел Кристиан Гэбриел (US), Смигал Джон Энтони (US), Ван Вен Йоханнес Антониус Роберт (NL); патентообладатель Шелл Интернэшнл Рисерч Маатсхаппий Б.В. (NL). – 3 с.

References

1. Loganina, V.I. Improving water resistance of coatings based on lime finishing compositions / V.I. Loganina, L.V. Makarova, S.N. Kislitsyna, K.A. Sergeeva // News of higher educational institutions. Construction. – 2012. – № 1. – P. 41–46.
2. Lime finishing compositions using synthesized aluminosilicate / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, I.V. Zhernovski, M.A. Sadovnikova // Bulletin of the Belgorod State Technological University. VG Shuhova. – 2014. – № 2. – P. 55–57.
3. Loganina, V.I. Influence of surface active filler on structure coatings on the basis of dry mixture / V.I. Loganina, I.S. Velikanova // Proceedings of higher educational institutions. Construction. – 2005. – № 5. – P. 58–60.
4. Optimization composition of composites for general purpose, modified nanoscale additives / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov, O.A. Davydova // Regional architecture and construction. – 2010. – № 2. – P. 53–57.
5. Pat. № 2008118244/15 Russian Federation, 07.05.2008. Method for producing aluminosilicate adsorbent / A.S. Shilin, V.K. Milinchuk. – 2402486.2010. Bull.number30.
6. Loganina, V.I. Structure and properties of synthetic additives on the basis of amorphous aluminosilicate for dry mixes / V.I. Loganina, A.D. Ryzhov, I.V. Zhernovski // Regional architecture and construction. – 2014. – № 3. – P. 25–28.
7. Pat. US 4289653, B01J21/12; B01J23/85; C10G45/08; (IPC1-7): B01J21/12. Co-gel catalyst manufacture / Jaffe, Joseph (CA), assignee Chevron Research Company (CA)
8. Pat. 2044689 Russian Federation, S01V33 / 38. The process for producing sodium aluminosilicate / V.P. Kharitonov (RU), G.N. Alekseeva (RU), A.A. Gnezdinov (RU), N.F. Savina (RU), V.M. Kovalev (RU); Perm plant patent on the synthetic detergents. – 3 p.
9. Pat. 2463108 Russian Federation, B01J 21/12, B01J 20/16, B01J 29/06, B01J 29/89, C01B 39/02, C01B 39/18. The composition of the amorphous silica-alumina and a method of producing and using such compositions / Ackerman Russell Craig (US), Michelle Christian Gabriel (US), Smigal John Anthony (US), Wang Wen Johannes Antonius Robert (NL); the patentee Shell International Research Maatskhappy B .AT. (NL) – 3 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

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

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

Penza State University of Architecture
and Construction

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

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

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

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОТДЕЛКИ СТЕН ИЗ ГАЗОБЕТОНА

В.И. Логанина, М.В. Фролов

Приведены результаты исследования влияния 4 различных высокопористых наполнителей на гидрофизические свойства теплоизоляционного отделочного слоя на основе известковой сухой строительной смеси. Оценена способность разрабатываемых покрытий противостоять воздействию косых дождей. При использовании в составе разрабатываемых сухих строительных смесей микросфер получены покрытия, характеризующиеся более высокой водостойкостью по сравнению с покрытиями, полученными с использованием других пористых наполнителей.

Ключевые слова: известь, стеклянные полые микросферы, зольные микросферы алюмосиликатные, паропроницаемость, коэффициент диффузии влаги, водостойкость, косые дожди

HYDRO-PHYSICAL PROPERTIES OF COATINGS FOR THE FINISHING OF WALLS FROM AERATED CONCRETE

V.I. Loganina, M.V. Frolov

The results of investigation the influence of 4 different highly porous fillers on hydrophysical properties of thermal insulation finishing layer on the basis of dry lime mortar are given. The ability of the developed coatings resistant to slanting rain is assessed. Using microspheres in the developed dry building mixtures there were got coverings characterized by higher water resistance in comparison with coatings obtained with the use of other porous fillers.

Keywords: lime, glass hollow microspheres, aluminosilicate ash microspheres, vapor permeability, moisture diffusion coefficient, water resistance, slanting rain

Одним из важных направлений усовершенствования современных отделочных составов является разработка рецептур теплоизоляционных сухих строительных смесей (ССС), при использовании которых возможно получить покрытия, характеризующиеся низким сопротивлением паропроницаению, высоким сопротивлением теплопередаче и высокой водостойкостью [1, 2]. При использовании для отделки газобетона таких ССС можно избежать конденсации влаги в толще ограждающей конструкции и, как следствие, ухудшения теплозащитных и эксплуатационных свойств стены.

Для получения теплоизоляционных покрытий в качестве высокопористых наполнителей в составе ССС чаще всего используют вспученный вермикулитовый песок (ВВП) и вспученный перлитовый песок (ВПП) [3, 4]. Данные наполнители значительно увеличивают водопотребность отделочных составов, вследствие чего увеличивается водопоглощение и уменьшается водостойкость покрытий на их основе. Испол-

зование в качестве наполнителей для штукатурных растворов полых стеклянных микросфер (СПМ) и зольных микросфер алюмосиликатных (ЗМА) позволяет уменьшить водопотребность отделочных составов, вследствие чего повышается прочность и водостойкость растворяемых композитов на их основе [5].

Нами разработан состав ССС, включающий: известь-пушонку, модифицирующую добавку на основе смеси гидросиликатов кальция и алюмосиликатов кальция, белый цемент, молотый газобетон, пластифицирующую добавку Melflux 2651F, релаксируемый порошок VINNAPAS 8031H, гидрофобизатор олеат натрия, высокопористый наполнитель [6, 7].

Нами исследовались гидрофизические свойства покрытий на основе предлагаемой ССС, наполненной СПМ, ЗМА, ВВП, ВПП. Наполнители брались в количестве 40 % от массы извести. Характеристики наполнителей представлены ниже:

– СПМ имеет насыпную плотность 130 кг/м^3 , диаметр частиц до 100 мкм, толщина стенки пор 1...3 мкм;

– ЗМА имеют насыпную плотность 400 кг/м^3 , диаметр частиц до 400 мкм, частицы обладают сплошными непористыми стенками толщиной от 2 до 10 мкм.

– ВВП имеет насыпную плотность 150 кг/м^3 , влажность по массе не более 3 %, зерновой состав 0,14...1,25 мм;

– ВВП марки М-150 имеет насыпную плотность 150 кг/м^3 , зерновой состав 0,14...0,63 мм, влажность по массе не более 2 %.

Определены коэффициенты диффузии влаги D , $\text{м}^2/\text{с}$, коэффициенты паропроницаемости μ , $\text{мг/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$, коэффициенты размягчения $K_{\text{разм}}$ и проведена оценка кинетики водопоглощения покрытий.

Зависимость водопоглощения по массе покрытий W_m от времени влагонасыщения представлена на рис. 1.

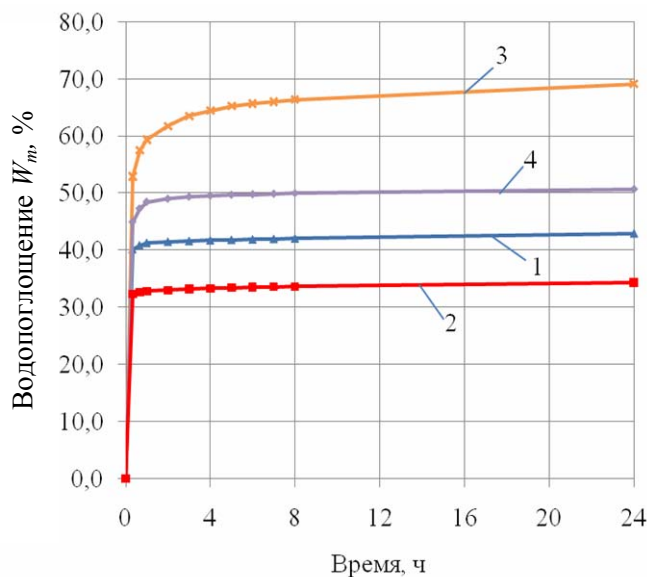


Рис. 1. Кинетика водопоглощения покрытий, наполненных:
1 – ПСМ; 2 – ЗМА; 3 – ВВП; 4 – ВВП

Установлено, что композиты, наполненные ВВП и ВПП, характеризуются высокими значениями водопоглощения по массе W_m . После 24 часов водонасыщения для композитов, наполненных ВВП, водопоглощение по массе составило $W_m = 69,11 \%$ (см. рис. 1, кривая 3), для композитов, наполненных ВПП, водопоглощение по массе составило $W_m = 50,64 \%$ (см. рис. 1, кривая 4). Композиты, наполненные ПСМ и ЗМА, характеризуются более низкими значениями водопоглощения по массе W_m . После 24 часов водонасыщения для композитов, наполненных ПСМ, водопоглощение по массе составило $W_m = 42,92 \%$ (см. рис. 1, кривая 1), для композитов, наполненных ЗМА, водопоглощение по массе составило $W_m = 34,31 \%$ (см. рис. 1, кривая 2).

Для оценки скорости водонасыщения определялся коэффициент диффузии влаги D , используя экспресс-метод. При вычислении коэффициента диффузии влаги использовалась формула

$$D = \frac{R^2}{\pi^2 \cdot t} \cdot \ln \frac{W_m(t_2) - W_m(t_1)}{W_m(t_3) - W_m(t_2)}, \text{ м}^2 / \text{с}, \quad (1)$$

где R – половина толщины покрытия, м; t – промежуток времени между измерениями влагосодержания по массе W_m , с; $W_m(t_1)$, $W_m(t_2)$, $W_m(t_3)$ – водопоглощение по массе образцов спустя 20, 40 и 60 минут после начала влагонасыщения, %.

Коэффициент паропроницаемости отделочных составов μ определялся по [8].

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Гидрофизические свойства покрытий

Характеристика	Наполнитель			
	ПСМ	ЗМА	ВВП	ВПП
Значение коэффициента диффузии влаги, $D \times 10^{-9}$, м ² /с	4,19	3,43	7,67	5,88
Коэффициент паропроницаемости, μ , мг/м·ч·Па	0,157	0,154	0,202	0,186
Коэффициент размягчения, $K_{\text{разм}}$	0,75	0,77	0,64	0,68

Данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют, что композиты, наполненные ВВП и ВПП, имеют высокую паропроницаемость, низкую водостойкость, большие значения коэффициента диффузии влаги. Это объясняется преобладанием в поровой структуре данных композитов открытой пористости. Общая пористость композитов, наполненных ВВП, составляет 75,2 %, в том числе открытая пористость – 49,1 %, закрытая пористость 26,1 %. Общая пористость композитов, наполненных ВПП, составляет 66,9 %, в том числе открытая пористость – 42,9 %, закрытая пористость 24,0 %.

В покрытиях, наполненных микросферами, преобладает закрытая пористость. Общая пористость композитов, наполненных ПСМ, составляет 76,9 %, в том числе открытая пористость – 26,9 %, закрытая пористость – 50,0 %. Общая пористость композитов, наполненных ЗМА, составляет 66,4 %, в том числе открытая пористость – 31,8 %, закрытая пористость – 34,6 %. Данные покрытия характеризуются большей водостойкостью по сравнению с покрытиями, наполненными ВВП и ВПП.

Штукатурка для газобетона должна обеспечивать защиту стены от проникновения влаги в результате действия косых дождей. Отдача влаги ограждающей конструкцией за счет диффузии должна быть выше возможного капиллярного водопоглощения. В [9] приведены характеристики, позволяющие классифицировать покрытия для наружной отделки стен по их возможности противодействовать воздействию косых дождей. Нормируются водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{\text{кп}}$, диффузия пара – эквивалентной толщиной слоя воздуха s_d , м, и произведение этих двух значений $W_{\text{кп}} \cdot s_d$.

Водопоглощение при капиллярном подсосе разрабатываемых отделочных покрытий $W_{\text{кп}}$ определялось по [10]. Изготавливались образцы размером 4×4×16 см, которые твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20°C и относительной влажности 50–60 %. По истечении 28 суток торцевые грани образцов обрабатывали штукатурной теркой для получения шероховатой поверхности. Боковые грани образцов покрывали водонепроницаемым составом. Образцы помещали торцевой гранью в ванну на сетчатую подставку. Ванну заполняли водой температурой 20±5°C таким образом, чтобы торец балочки был погружен в воду на 5–10 мм. Водопоглощение при капиллярном подсосе определяли по формуле

$$W_{\text{кп}} = k_w \frac{m_1 - m_2}{S}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}), \quad (2)$$

где m_1 – масса сухого образца, кг; m_2 – масса влажного образца после 24 часов влагонасыщения, кг; S – площадь увлажняемой грани образца, м²; k_w – коэффициент, учитывающий время насыщения образца.

Определялся эквивалентный воздушный промежуток s_d по формуле

$$s_d = \mu_x \cdot d, \text{ м}, \quad (3)$$

где d – толщина слоя материала, м (для всех вариантов покрытия d принята 0,02 м); μ_x – безразмерный коэффициент паропроницаемости отделочного состава по сравнению с паропроницаемостью воздуха, определяемый по формуле

$$\mu_x = \frac{\mu_v}{\mu}. \quad (4)$$

Здесь μ_v – коэффициент паропроницаемости воздуха, мг/м·ч·Па; μ – коэффициент паропроницаемости отделочного состава, мг/м·ч·Па.

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Свойства, характеризующие способность покрытий противостоять воздействию косых дождей

Характеристика	Нормативные требования*	Наполнитель			
		ПСМ	ЗМА	ВВП	ВПП
Водопоглощение при капиллярном подсосе $W_{\text{кп}}$, кг/(м ² ·ч ^{0,5})	Не более 0,5	0,449	0,376	0,912	0,764
Эквивалентный воздушный промежуток s_d , м	Не более 2,0	0,080	0,081	0,062	0,067
$W_{\text{кп}} \cdot s_d$, кг/(м·ч ^{0,5})	Не более 2,0	0,036	0,031	0,056	0,051

П р и м е ч а н и е : * по DIN 4108-3-2014

В нормативной литературе [11] для наружной отделки газобетона допускается использовать отделочные составы, характеризующиеся водопоглощением при капиллярном подсосе $W_{\text{кп}} < 0,5$. Покрытия на основе предлагаемого состава ССС, наполненные ПСМ и ЗМА, относятся к классу водоотталкивающих [9], что позволяет рекомендовать использовать данные ССС для наружной отделки газобетона. Покрытия на основе предлагаемого состава ССС, наполненные ВВП и ВПП, относятся к классу водостойких [9], что не позволяет рекомендовать использовать данные ССС для наружной отделки газобетона.

При использовании в составе разрабатываемого состава ССС в качестве наполнителя ПСМ получены покрытия, характеризующиеся средней плотностью $\rho_{\text{ср}} = 590\text{--}620$ кг/м³, прочностью при сжатии спустя 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях $R_{\text{сж}} = 3,2\text{--}3,4$ МПа, теплопроводностью $\lambda = 0,115\text{--}0,125$ Вт/м·К. Это позволяет рекомендовать данный состав ССС для отделки газобетонных блоков марок D500-D600.

При использовании в составе разрабатываемой ССС в качестве наполнителя ЗМА получены покрытия, характеризующиеся средней плотностью $\rho_{\text{ср}} = 820\text{--}850$ кг/м³, прочностью при сжатии спустя 28 суток твердения в воздушно-сухих условиях $R_{\text{сж}} = 4,2\text{--}4,4$ МПа, теплопроводностью $\lambda = 0,170\text{--}0,175$ Вт/м·К. Это позволяет рекомендовать данный состав ССС для отделки газобетонных блоков марок D700-D800.

Список литературы

1. Сухие отделочные строительные смеси на основе композиционных вяжущих для устройства теплоизоляционных систем / Г.Г. Ильинская [и др.] // Вестник Белгородского государственного университета им В.Г.Шухова. – 2015. – №6 – С.139–143.
2. Орешкин, Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства / Д.В. Орешкин // Строительные материалы. – 2010. – №6 – С.34–37.

3. Трофимов, Б.Я. Теплоизоляционные штукатурные растворы с вермикулитовым наполнителем / Б.Я. Трофимов, Р.Я. Ахтямов, Р.М. Ахмедьянов // Цемент и его применение. – 2002. – № 6. – С. 16–19.
4. Ахтямов, Р.Я. Легкие строительные штукатурные растворы с вермикулитовым наполнителем / Р.Я. Ахтямов, Р.М. Ахмедьянов, Б.Я. Трофимов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – №11 – С. 16–17.
5. Логанина, В.И. Теплоизоляционные известковые сухие строительные смеси для отделки стен из газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2016. – №5. – С.82–92.
6. Логанина, В.И. Известковое композиционное вяжущее с применением добавки на основе алюмосиликатного наполнителя / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов // Вестник Белгородского государственного университета им В.Г.Шухова. – 2015. – №6 – С.70–73.
7. Разработка добавки на основе смеси синтезированных гидросиликатов кальция и алюмосиликатов для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов, М.А. Рябов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – №2. – С.93–95.
8. ГОСТ 25898-2012. Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию. – М.: МНТКС, 2014. – 15 с.
9. DIN 4108-3-2014. Теплоизоляция и экономия энергии в зданиях. Часть 3. Защита от проникновения влаги, обусловленная климатическими условиями, требования, методы расчета и указания к проектированию и исполнению. – Германия, 2014. – 77 с.
10. ГОСТ 31356-07 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 2008. – 16 с.
11. Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения. – Белгород.: Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона, 2010. – 3 с.

References

1. Dry finishing mixes on the basis of composite binding device for thermal insulation systems / G.G. Ilyinskaya [etc.] // Bulletin of the Belgorod State University Shukhov. – 2015. – №6. – P.139–143.
2. Oreshkin, D.V. Lightweight and ultra-light mortars for the construction / D.V. Oreshkin // Building materials . – 2010. – №6 – P.34–37.
3. Trofimov B.Ja., Ahtjamov R.Ja., Ahmed'janov R.M. Thermal insulating plasters with vermiculite filler // Cement and its applications– 2002. – № 6. – pp. 16-19.
4. Ahtjamov, R.Ja. Lightweight construction plasters with vermiculite filler / R.Ja. Ahtjamov, R.M. Ahmed'janov, B.Ja. Trofimov // Building materials, equipment, technologies of XXI century – 2002. – №11 – P. 16–17.
5. Loganina, V.I. Insulation lime dry mixes for the walls of aerated concrete / V.I. Loganina, M.V. Frolov, M.A. Ryabov // Vestnik of Moscow State University of Civil Engineering. – 2016. – № 5. – P.82–92.
6. Loganina, V.I. Lime composite binder with additives based on aluminosilicate filler / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, M.V. Frolov // Bulletin of the Belgorod State University Shukhov. – 2015. – № 6. – P.70–73.
7. Development of additives on the basis of a mixture of synthetic calcium silicate and aluminum silicates for dry construction mixtures / V.I. Loganina, S.V. Kislitsina, M.V. Frolov, M.A. Ryabov // Academic Gazette UralNIIProekt RAASN. – 2015. – № 2. – P. 93–95.
8. GOST 25898-2012. Building materials and products. Methods for determination of water vapor permeability and water vapor resistance. – М.: МНТКС, 2014. – 15 p.
9. DIN 4108-3-2014. Thermal protection and energy economy in buildings – Part 3: Protection against moisture subject to climate conditions – Requirements and directions for design and construction. – Germany, 2014. – 77 p.
10. GOST 31356-07 Dry mixes for building cement binder. Test methods. – М.: МНТКС, 2008. – 16 p.
11. Guidelines for outer wall decoration from cellular concrete blocks autoclaved. – Belgorod. National Association of autoclaved aerated concrete, 2010. – 3 p.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Кузнецова Галина Васильевна,
соискатель, старший преподаватель
кафедры «Технология строительных
материалов, изделий и конструкций»
E-mail: kuznetzowa.gal@yandex.ru

Морозова Нина Николаевна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология строительных
материалов, изделий и конструкций»
E-mail: ninamor@mail.ru

Зигангараева Сирень Ринатовна,
студентка
E-mail: kuznetzowa.gal@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and
Construction

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

Kuznetsova Galina Vasilyevna,
Applicant, Senior lecturer of the department
«Technology of building materials, products
and structures»
E-mail: kuznetzowa.gal@yandex.ru

Morozova Nina Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Professor of the
department «Technology of building
materials, products and structures»
E-mail: ninamor@mail.ru

Zigangaraeva Siren Rinatovna,
student
E-mail: kuznetzowa.gal@yandex.ru

СИЛИКАТНЫЕ СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕРЖЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Г.В. Кузнецова, Н.Н. Морозова, С.Р. Зигангараева

Рассмотрены вопросы применения отсева горных пород фракции 0–5 мм при изготовлении силикатных изделий. Показано, что непрерывная гранулометрия отсевов обеспечивает получение требуемой сырьевой прочности для производства силикатных камней, блоков и перегородок по прямой технологии.

Ключевые слова: кирпич, отсева дробления, щебень, силикатный материал, сырьевая прочность, автоклавная прочность

SILICATE WALL MATERIALS WITH THE USE OF IGNEOUS ROCKS CRUSHING DROPOUT

G.V.Kuznetsova, N.N. Morozova, S.R. Zigangaraeva

The question of application of rocks dropout of fraction 0-5 mm at production of silicate products is considered. It is shown that the continuous grading of dropout provides the required adobe durability for production of silicate stones, blocks and partitions on direct technology.

Keywords: brick, crushing dropout, crushed stone, silicate material, adobe durability, autoclave durability

В сложившихся экономических условиях рациональным в развитии промышленности строительных материалов может стать комплексное использование добываемых природных ресурсов, в том числе отходов в виде отсевов дробления горных пород.

В процессе переработки горных пород в товарный продукт – щебень – образуется значительное количество отсевов дробления (от 20 до 35 %). Большой объем отсевов дробления происходит за счет производства щебня улучшенной формы зерен. Существующие в настоящее время технологии производства не позволяют снизить объемы выхода отсева. Количество отсевов может составлять до 40 % от объема производимого товарного щебня и зависит от фракции производимого щебня. В России известно более 400 предприятий, занимающихся переработкой изверженных горных пород. Рост объемов отходов приводит к образованию отвалов, занимающих

значительные площади земли, загрязнению окружающей среды и удорожанию готового продукта (щебня). Поэтому эффективное использование отсевов дробления является актуальной задачей.

По данным ООО «ГС-Эксперт», в России по состоянию на начало 2015 г. насчитывалось 93 силикатных завода [1]. Большая часть заводов силикатного кирпича расположена в Центральном, Поволжском и Уральском экономических округах. Россия занимает одно из лидирующих мест по темпам строительства, в том числе по возведению индивидуального жилья. В связи с этим существует острая потребность в качественных и недорогих стеновых материалах. При этом прессованные изделия автоклавного твердения по спросу занимают третье место среди стеновых материалов [2]. В настоящее время получение автоклавных силикатных материалов базируется на технологии с использованием известково-кремнезёмистого вяжущего, в которой главным сырьевым компонентом является природный песок. Особую сложность при использовании природного песка вызывает получение высокопустотных изделий вследствие низкой прочности сырца и неоптимальной структуры матрицы [3]. Исследования [4–8] показали, что степень уплотнения смеси зависит от зернового состава песка в известковой смеси как заполнителя, его дисперсности в вяжущем, следствием чего становятся физико-механические свойства силикатного продукта. Плотность прессованного образца растёт с увеличением крупности песка, а пустотность уменьшается.

При производстве силикатных прессованных изделий большое значение имеет сырьевая прочность, обеспечивающая сохранность продукции и, как следствие, ее внешний вид в процессе съема с пресса и транспортировки в автоклав [9]. Стремительное расширение номенклатуры изделий производителей силикатных стеновых материалов, таких, как пустотелый кирпич, камень пустотелый, блоки и перегородки, меняет и требования к сырьевой прочности (табл. 1) [10].

Т а б л и ц а 1

Технологические требования к сырьевой прочности силикатных прессованных изделий

Наименование сырца	Ед. изм.	Сырьевая прочность $R_{сж\ сыр}$, МПа, по методу	
		2 кирпича «постель на постель»	1 кирпич «на постель»
Полнотелый кирпич	МПа	0,35-0,5	0,6-0,7
Пустотелый кирпич	МПа	$1,25 \times R_{сж\ сыр}$ и не менее 0,65	1,0
Пустотелые камни, блоки, перегородки	МПа	$1,5 \times R_{сж\ сыр}$ и не менее 0,75	-

Одним из основных компонентов сырьевой смеси для производства силикатного кирпича является строительный песок, расход которого достигает 2,4–2,2 м³/тыс. шт. кирпича. При этом в основном используют намывные и овражные пески, состоящие из одной или двух фракций. Использование мелких песков требует применения укрупняющих добавок или традиционной технологии производства с известково-кремнезёмистым вяжущим [9].

Хороший песок должен содержать SiO₂ более 95 %. Пески, используемые для силикатного производства, считаются пригодными при содержании SiO₂ более 30 % [11]. Поэтому отходы дробления горных пород могут быть пригодны в качестве механически активного заполнителя силикатного кирпича.

В связи с этим нами проведено исследование применения технологии производства силикатного кирпича на бездобавочной извести в качестве вяжущего и искусственном песке-отсеве, полученном при дроблении горных пород, таких, как диабаз, габбро и т.п. Насыпная плотность – 1,51–1,58 т/м³. Марка по дробимости 800–1400. $A_{эфф}$ – 55±10. Фракционный состав проб представлен в табл. 2.

Характеристика фракционного состава проб отсева дробления

№ пробы	Наименование показателя	Размер ячейки сита, мм						
		5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	≤0,16
1	Частные остатки, %	0,4	5,4	11	26	26,75	21,75	9,1
	Полные остатки, %	-	5,4	16,4	42,4	69,15	90,9	100
Модуль крупности		2,24						
2	Частные остатки, %	1,4	16,0	13,1	16,1	18,9	23,7	12,2
	Полные остатки, %	-	16,0	29,1	45,2	64,1	87,8	100
Модуль крупности		2,42						

Как видно из табл. 1, согласно ГОСТ 8736 исследуемые пески из отсева дробления щебня по модулю крупности относятся к группе средних и крупных, а по полному остатку на сите №063 – к группе крупных; по содержанию зерен крупностью св. 5 мм относятся к первому классу, а по количеству пылевидных частиц (менее 0,16 мм) – ко второму классу. Водопоглощение песков-отсевов колеблется в пределах 12–23 %.

Отсевы дробления представляют песчаную фракцию с непрерывным гранулометрическим составом (рис. 1) и соответствуют требованиям ГОСТ 8736 и ОСТ 21-1-80.

Далее проведено исследование возможности замены кварцевого песка в составе вяжущего на песок из отходов дробления горных пород. Поскольку известково-кремнезёмистое вяжущее получают совместным помолом извести и добавки, то исследована размолоспособность используемых кремнезёмистых добавок (рис. 2). Помол материалов проводили в сухом состоянии в пружинной мельнице; после установленного времени измельчения полученный порошок оценивали по тонкости помола на ПСХ-12.

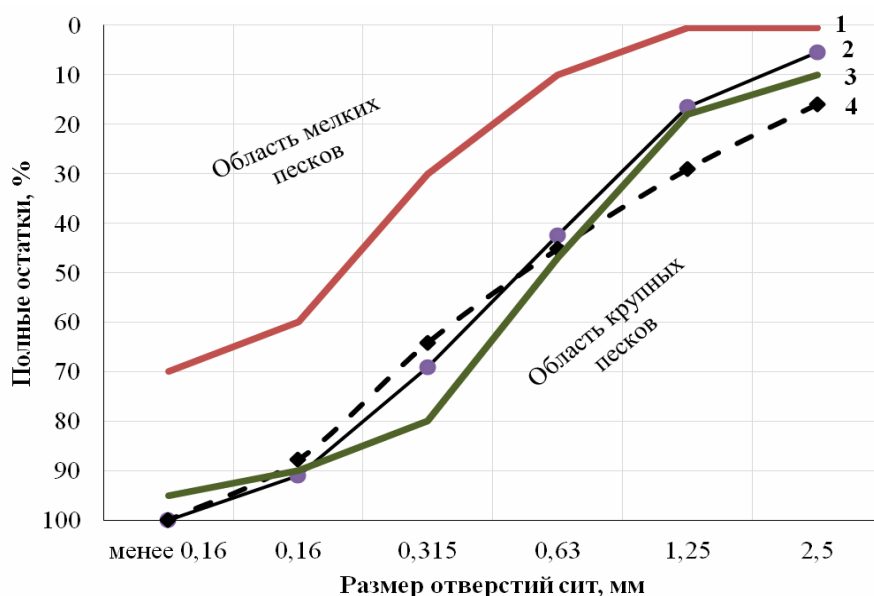


Рис. 1. Графики рассева песков из отсева дробления: кривые 1, 3 – требования ОСТ 21-1-80; 2 – проба №1; 4 – проба №2

Анализ рис. 2 показывает, что отсева дробления размалываются быстрее, чем прочные кварцевые зёрна, что может обеспечить в производстве вяжущего экономичный расход мелющих тел и энергии.

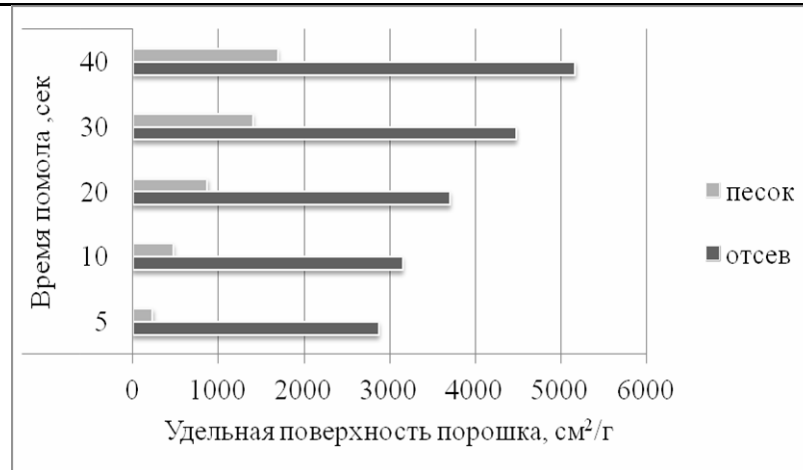


Рис. 2. Размолоспособность песка и отсева дробления

Для установления оптимального состава вяжущего при изготовлении силикатного кирпича на песке из отсева дробления изверженных горных пород были спрессованы образцы – цилиндры 60×60 мм. Образцы изготавливали по двум технологиям. В первом варианте – по «прямой» технологии с использованием в качестве вяжущего бездобавочной молотой извести, во втором варианте – по «традиционной» технологии на известково-кремнеземистом вяжущем.

На кварцевом песке, песке из отсева дробления и извести изготовили составы известково-кремнеземистых вяжущих, формовочную смесь с содержанием активных CaO+MgO 8 % прогасили и спрессовали образцы-цилиндры и оценили их физико-механические свойства. Результаты исследований приведены на рис. 3.

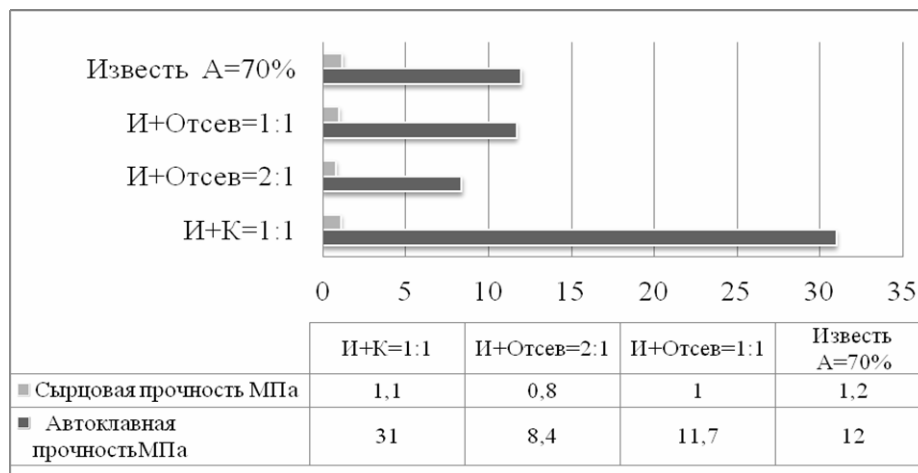


Рис. 3. Влияние состава вяжущего на прочностные показатели прессованных образцов

Полученные данные показывают, что все составы имеют достаточную сырцовую прочность (не менее 0,75 МПа). Сырцовая прочность удовлетворяет требованиям прочности для производства пустотелых камней, блоков и перегородок и обеспечивается с запасом на всех видах вяжущего.

Как видно из полученных результатов, прочность образцов на смешанном вяжущем из извести и отсева, изготовленных с использованием отходов дробления вместо кварцевого песка, при достаточной сырцовой прочности более 0,75 МПа, автоклавная прочность образцов на нем ниже на 51 % прочности образцов на известково-кремнеземистом вяжущем. Также прочность образцов на бездобавочной извести выше, чем на смешанном известково-отсечном вяжущем.

Известно, что количество вяжущего, которое можно ввести в смесь, ограничивается пустотностью кремнеземистого компонента смеси и содержанием дисперсной

составляющей песка, которая не должна превышать 25 % [4, 9]. Излишнее количество дисперсной фракции в смеси может привести к бóльшей раздвижке зерен и снижению плотности и прочности. Зарубежные технологии, базирующиеся на так называемой «прямой» технологии, в рецептуре используют не более 10 % извести, так как дальнейшее увеличение ее содержания экономически невыгодно [11, 12].

С целью снижения влияния дисперсной составляющей на прочность проведено исследование извести с содержанием активных СаО+MgO от 60 до 83 % и смеси с содержанием активных СаО+MgO в количестве 8, 9 и 10 % , что соответствует 10–17 % вяжущего. Для этого были изготовлены образцы-цилиндры 60х60 мм по «прямой» технологии, определена сырцовая прочность и автоклавная прочность после запаривания при давлении 0,9 МПа по режиму (2+6+2) часов. Полученные результаты представлены на рис. 4.

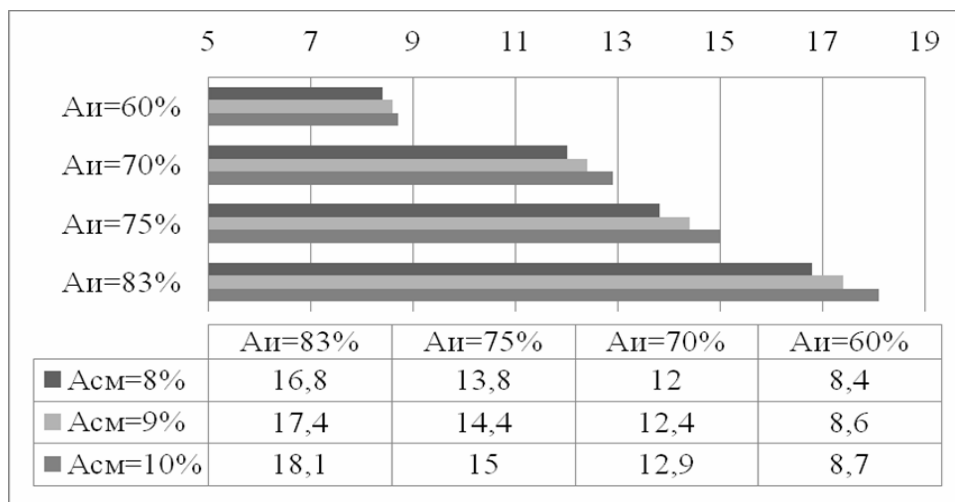


Рис. 4. Влияние активности извести на автоклавную прочность прессованных образцов при разной активности формовочной смеси

Как видно из рис. 4, увеличение содержания активных СаО+MgO в смеси с 8 до 10 % и в вяжущем с 60 до 83 % увеличивает прочностные показатели прессованных образцов. Снижение содержания активных СаО+MgO в извести за счет «недожога» увеличивает долю карбонатов смеси, не участвующих в синтезе гидросиликатов кальция при автоклавной обработке, что приводит к потере прочности. Пески отсева дробления требуют использования извести второго сорта с содержанием активных СаО+MgO не менее 80 % и содержание в смеси вяжущего не менее 12–13 %.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- размолоспособность отсева дробления изверженных горных пород более чем в 3 раза больше мелкого строительного песка;
- применение отсева дробления в качестве компонента вяжущего, полностью заменяющего кварцевый песок, позволяет сохранить сырцовую прочность, тогда как автоклавная прочность снижается в 2,6 раза, т.е. содержание кремнезёма в отсева горной породы недостаточно для равнозначной замены им кварцевого песка в составе вяжущего и смеси;
- использование известкового бездобавочного вяжущего позволяет получить на песках дробления прессованные изделия с прочностью сырца более 0,8 МПа против требуемой технологией 0,75, что допускает возможность применения его для производства пустотелых и полнотелых изделий и снижает затраты на помол известково-кремнеземистого вяжущего;
- увеличение содержания активных СаО+MgO на 2 % в смеси и в известковом бездобавочном вяжущем увеличивает прочностные показатели прессованных образцов на 7–9 %;

– автоклавная прочность образцов на бездобавочном (известковом) вяжущем обеспечивает получение автоклавной прочности, соответствующей маркам 150–175.

Список литературы

1. Семенов, А.А. Рынок силикатных стеновых материалов и вопросы сырьевого обеспечения отрасли / А.А. Семенов // Строительные материалы. – 2015. – №12. – С. 40–43.
2. Рахимов, Р.З. Керамический и силикатный кирпич в строительстве / Р.З. Рахимов // Строительные материалы. – 2009. – № 6. – С. 24–27.
3. Тихомирова, И.Н. Механоактивация известково-кварцевых вяжущих / И.Н. Тихомирова, А.В. Макаров // Строительные материалы. – 2012. – №9. – С. 4–7.
4. Кузнецова, Г.В. Влияние гранулометрии природных песков на технологию силикатного кирпича / Г.В. Кузнецова, Н.Н. Морозова, Т.А. Шемелова // Инновационное развитие современной науки: материалы Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2015. – С. 43–45.
5. Хохряков, О.В. Изучение дисперсного состава минеральных компонентов цементов низкой водопотребности после их получения / О.В. Хохряков, Д.И. Баишев, В.Г. Хозин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 4 (26). – С. 252–256.
6. Кузнецова, Г.В. Влияние корректирующей добавки на свойства известково-кремнеземистого вяжущего / Г.В. Кузнецова, Н.Н. Морозова // Строительные материалы. – 2013. – № 12. – С. 12–14.
7. Авксентьев, В.И. Шлам химической водоочистки-эффективный наполнитель в самоуплотняющихся песчаных бетона / В.И. Авксентьев, Н.М. Морозов, В.Г. Хозин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 249–254.
8. Активизация процессов твердения известково-кремнеземистой смеси цемента и добавками ускорителями / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, В.Н. Вернигорова, Н.М. Дубошина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1998. – № 1. – С. 35.
9. Кузнецова, Г.В. Влияние компонентов известково-кремнеземистого вяжущего на связность формовочной массы для прессования / Г.В. Кузнецова, Н.Н. Морозова // Строительные материалы. – 2012. – № 12. – С. 69–71.
10. Кузнецова, Г.В. Способ прессования силикатного кирпича и метод определения его сырьевой прочности / Г.В. Кузнецова // Строительные материалы. – 2015. – №12. – С. 50–53.
11. Шелер, Р. Типоразмеры силикатного кирпича и блоков. Основные требования. Применение кирпича в России в настоящее время / Р. Шелер, В. Ферстер, П.П. Пирогов // Строительные материалы. – 2010. – № 9. – С. 44–48.
12. Кузнецова, Г.В. Проблемы замены традиционной технологии силикатного кирпича с приготовлением известково-кремнеземистого вяжущего на прямую технологию / Г.В. Кузнецова, Н.Н. Морозова // Строительные материалы. – 2013. – № 9. – С. 14–17.

References

1. Semenov, A.A. Market of silicate wall materials and questions of raw providing branch / A.A. Semenov // Construction materials. – 2015. – No. 12. – P.40–43.
2. Rakhimov, R.Z. A ceramic and silicate brick in construction / R.Z. Rakhimov // Construction materials. – 2009. – No. 6. – P.24–27.
3. Tikhomirova, I.N. Mechanoactivation limy and quartz the knitting / I.N. Tikhomirova, A.V. Makarov // Construction materials. – 2012. – No. 9. – P.4–7.
4. Kuznetsova, G.V. Influence of a granulometriya of natural sand on technology of a silicate brick / G.V. Kuznetsova, N.N. Morozov, T.A. Shemelov // Innovative development

of modern science: materials of the International scientific and practical conference. – Ufa, 2015. – P.43–45.

5. Hokhryakov, O.V. Studying of disperse structure of mineral components of cements of low water requirement after their receiving / O.V. Hokhryakov, D.I. Baishev, V.G. Hozin //News the Kazan state architectural and construction university. – 2013. – No. 4 (26). – P.252–256.

6. Kuznetsova, G.V. Influence of the correcting additive on properties limy and silicic knitting / G.V. Kuznetsova, N.N. Morozova //Construction materials. – 2013. – No. 12. – P.12–14.

7. Avksentyev, V.I. Slime of chemical water purification – an effective filler in self-condensed sandy concrete / V.I. Avksentyev, N.M., Morozov V.G. Hozin //News of the Kazan state architectural and construction university. – 2014. – No. 4. – P.249–254.

8. Activization of processes of curing of limy and silicic mix cement and additives accelerators / V.S. Demyanova, B.I. Kalashnikov, V.N. Vernigorova, N.M. Duboshin //News of higher educational institutions. Construction. – 1998. – No. 1. – P.35.

9. Kuznetsova, G.V. Influence of components limy and silicic knitting on connectivity of forming weight for pressing / G.V. Kuznetsova, N.N. Morozov //Construction materials. – 2012. – No. 12. – P.69–71.

10. Kuznetsova, G.V. Way of pressing of a silicate brick and method of determination of its adobe durability / G.V. Kuznetsova //Construction materials. – 2015. – No. 12. – P.50–53.

11. Sheler, R. Standard sizes of a silicate brick and blocks. Main requirements. Application of a brick in Russia now / R. Sheler, V. Ferster, P.P. Pirogov //Construction materials. – 2010. – No. 9. – P.44–48.

12. Kuznetsova, G.V. Problems of replacement of traditional technology of a silicate brick with preparation limy and silicic knitting on direct technology / G.V. Kuznetsova, N.N. Morozov //Construction materials. – 2013. – No. 9. – P.14–17.

УДК 519.7

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

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

Penza State University of Architecture
and Construction

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

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

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

СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Рассмотрены методологические принципы системного проектирования сложных систем. Предложена структурная схема проектирования композитов с учетом основных положений оптимальности системы в условиях количественных ограничений на оптимизируемые параметры. Показана зависимость и неоднозначность результатов системного проектирования с использованием модульного принципа, исходя из различных видов физических процессов, происходящих в системе.

Ключевые слова: композиты, сложные системы, системное проектирование, модульный принцип, математическое моделирование, оптимизация

SYSTEM DESIGN OF COMPOSITES

A.M. Danilov, I.A. Garkina

Methodological principles of system design of complex systems are considered. Structural scheme of designing composites (taking into account the basic provisions of optimality of system) at quantitative restrictions on the optimized parameters is proposed. The dependence and the ambiguity of the results of the system designing using the modular principle, based on the different types of physical processes occurring in the system are shown.

Keywords: composites, complex systems, system design, modular principle, mathematical modeling, optimization

Теоретической базой проектирования сложных технических систем (в том числе композиционных материалов) является создание и изучение наиболее общих способов описания законов их функционирования, методов анализа и синтеза, в том числе поведения больших совокупностей взаимосвязанных процессов, элементов и объектов. В ряде случаев после формализации и математического моделирования системы задача проектирования сводится к определению глобального экстремума функции многих переменных при соответствующих ограничениях. При системном исследовании определяются условия, при которых возможно выполнение системой как целостным объектом поставленных перед нею (для достижения определенных целей) задач. Предполагается возможность декомпозиции (расчленение) системы на относительно самостоятельные элементы (подсистемы) с возможностью описания суще-

ственных структурно-функциональных связей между ними (указываются входы и выходы). Тогда проектирование будет состоять в поиске оптимальных параметров с учетом многофункциональности и взаимосвязей подсистем (с точки зрения выполнения системой своего функционального назначения). На каждом уровне иерархии оптимальные параметры системы определяются на основе математического моделирования системы; используемые при этом критерии качества и их формализация должны позволить осуществить объективную оценку результатов проектирования. Естественно, системное проектирование носит итеративный характер и содержит ряд этапов (технико-экономическое обоснование, эскизное проектирование, техническое проектирование и т.д.); на каждом последующем этапе используются результаты предыдущего.

Системное проектирование композиционных материалов начинается с когнитивного моделирования (построение ориентированного графа) и построения иерархической структуры критериев качества. Появляется возможность определения структуры композита по формализованным межэлементным связям [1]. Композиционный материал естественным образом представляется в виде сложной системы с соответствующими системными атрибутами [2, 3]. Многокритериальность и противоречивость приводят к необходимости расстановки приоритетов (ранжирование) критериев качества. Исходя из заданной точности моделирования, определяется размерность критериального пространства; при этом на каждом масштабном уровне устанавливается вид заданной области факторного пространства (рис. 1). Структурная схема системного проектирования композитов базируется на основных положениях оптимальности системы:

- система оптимизируется в целом как единый объект с заданным целевым назначением;
- система, состоящая из оптимальных элементов (подсистем), не обязательно является оптимальной (это не означает, что оптимизация по частям не имеет смысла);
- оптимизация осуществляется по количественным критериям, в общем случае по векторному критерию (математически отражает цель оптимизации; отсутствие такого критерия, как правило, свидетельствует о нечетком понимании исследователем стоящей перед ним задачи);
- оптимальность системы носит относительный характер: оптимизация осуществляется в условиях количественных ограничений на оптимизируемые параметры.

Приведем ряд замечаний, касающихся проблемы выбора системы критериев для каждого рассмотренного уровня проектных задач. Параметры и характеристики каждого элемента подсистемы должны выбираться из условия обеспечения высокой эффективности системы в целом (организмический принцип; критерии качества подсистем не должны противоречить критерию качества всей системы): если на всех уровнях элементы и подсистемы оптимальны по критериям, соответствующим системам более высокого уровня, то вся система будет оптимальной. Иначе говоря, на каждом этапе проектирования могут использоваться свои критерии оценки подсистем, однако все они должны быть непротиворечивыми и соответствовать общим целям проектирования.

Как видим, важнейшей составной частью методологии системного проектирования является математическое моделирование проектных задач: построение модели и ее исследование, отыскание допустимых решений, анализ чувствительности модели и оптимизация [4, 5]. Построение модели состоит в количественном описании характеристик (свойств) системы от выбранных параметров (свойства и параметры могут быть зависимыми между собой). Понятия «параметр» и «характеристика» в иерархических системах относительны: параметры верхнего уровня для нижнего уровня являются характеристиками. Если при существующем уровне знаний не удастся определить связи между характеристиками и параметрами, то они исключаются из формализованного описания модели до завершения ряда необходимых дополнительных исследований.

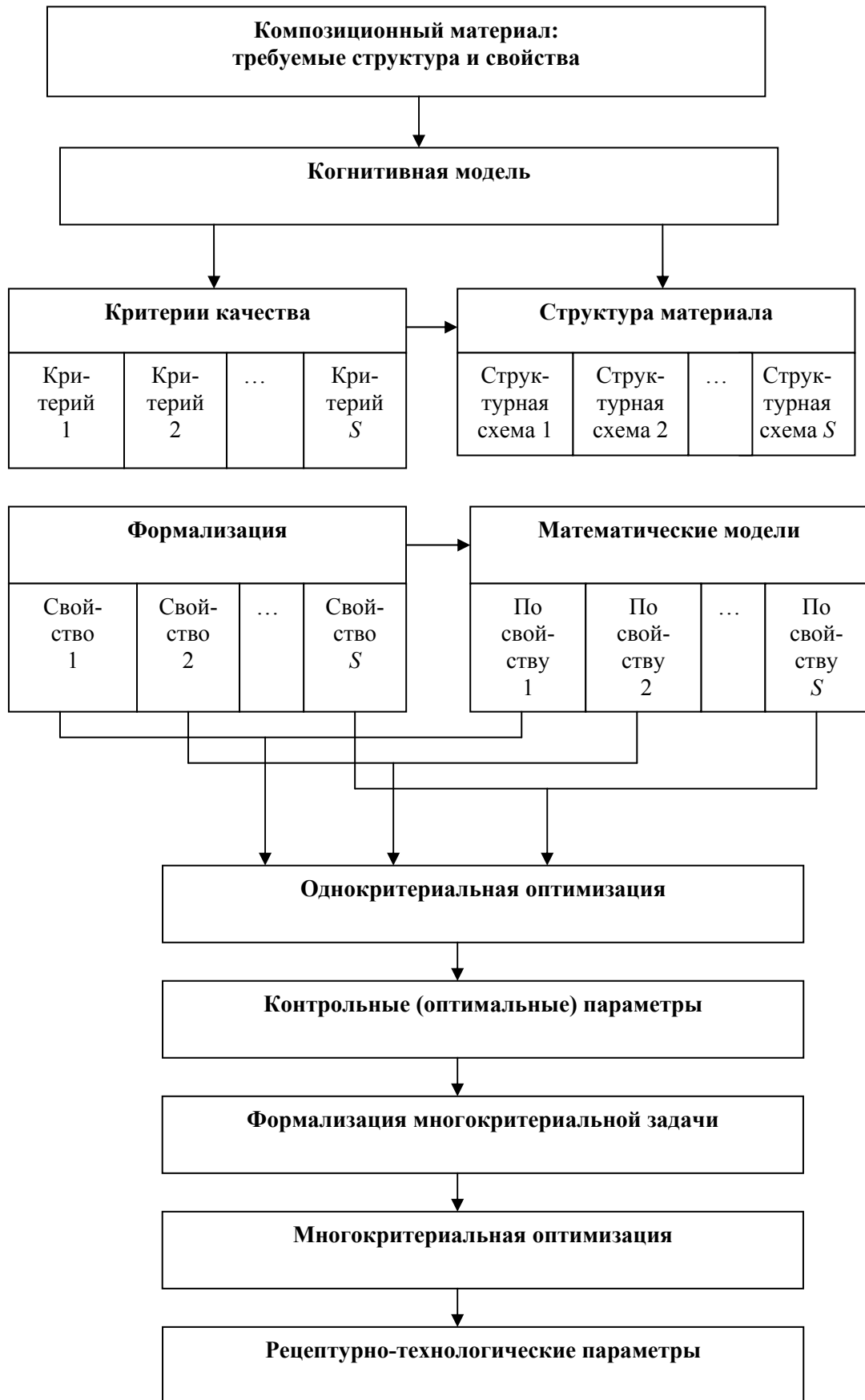


Рис. 1. Структурная схема синтеза

Системное проектирование, как правило, является модульным [6, 7]; расчленение системы на модули *по иерархической структуре критериев качества* неоднозначно и содержит элементы субъективизма (в частности, поглощение композитом ионизирующего излучения может достигаться изменением ингредиентов, гранулометрического состава и т.д.). Модульное представление сложных систем не всегда способствует пониманию способов достижения системой конечной цели от физического состояния модуля. Важно расчленить систему на модули так, чтобы стала как можно более прозрачной связь конечной цели системы и параметров каждого модуля (например, модуль – смачиваемость; см. рис. 1). Вид модулей в значительной степени определяется разбиениями системы, исходя из различных видов физических процессов, происходящих в системе. Ни при каком разбиении нельзя достичь агрегирования модулей, представленных в декомпозиции, в *реальную* целостную систему (идентификация возможна лишь с заданной точностью, но не абсолютной).

Используемые модели нередко являются нестационарными; могут зависеть от параметров внешней среды (лето, зима); при малом интервале времени могут рассматриваться как стационарные. Оптимизация параметров модели основывается на параметрической идентификации с разработкой вычислительного алгоритма, в том числе на промежуточных уровнях иерархии. Естественно, предполагается проверка на соответствие моделируемому объекту путем решения тестовой задачи; устраняются возможные ошибки, по возможности упрощается математическое описание, сокращается число управляющих параметров. Фактически оптимизация и является заключительным этапом системного проектирования.

Предлагаемые методы системного проектирования сложных систем прошли апробацию при разработке сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации, эпоксидных композитов, материалов для защиты от воздействия агрессивных сред [2]; управляемых динамических систем различного назначения, в том числе тренажных и обучающих комплексов [8] и др.

Список литературы

1. Системный анализ в строительном материаловедении: монография / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев. – М.: МГСУ, 2012. – 432 с.
2. Данилов, А.М. Разработка строительных материалов как систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2(29). – С.50–54.
3. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina. // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. –Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>
4. Данилов, А.М. Интерполяция, аппроксимация, оптимизация: анализ и синтез сложных систем: монография / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 168 с.
5. Будылина, Е.А. Фундаментальные основы оценки качества сложных систем / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 4 (14). – С. 6–9.
6. Сложные системы модульной структуры: композиты, автономные исследования сепаратных подсистем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.И. Ермолаева, А.М. Зарецкий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 1 (15). – С. 152–156.
7. Budylyna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylyna, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Т. 8. – № 9. – P. 441–445.
8. Гарькина, И.А. Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Пылайкин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 1 (40). – С. 113–120.

References

1. Systems analysis in building materials: monograph / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: Moscow State University of Civil Engineering, 2012. – 432 p.
2. Danilov, A.M. Development of building materials such as systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // *Regional architecture and engineering*. – 2016. – №2 (29). – P.50–54.
3. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8. – No. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>
4. Danilov, A.M. Interpolation and approximation, optimization: analysis and synthesis of complex systems: monograph / A.M. Danilov, I.A. Garkina. – Penza: PGUAS, 2014. – 168 p.
5. Budylnina, E.A. Fundamentals for evaluating the quality of complex systems / E.A. Budylnina, I.A. Garkina, A.M. Danilov // *New university. Series: engineering*. – 2013. – № 4 (14). – P. 6–9.
6. Complex systems of modular structure: composites, self study separate subsystems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.I. Yermolayeva, A.M. Zaretsky // *Proceedings of Kazan state architecture and civil engineering university*. – 2011. – № 1 (15). – P. 152–156.
7. Budylnina, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylnina, A. Danilov, I. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – T. 8. – № 9. – P. 441–445.
8. Garkina, I.A. Transportation ergatic system: information models and control / I.A. Garkina, A.M. Danilov, S.A. Pylaykin // *World of transport and technological machines*. – 2013. – № 1 (40). – P. 113–120.

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

Россия, 410054, г. Саратов,
ул. Политехническая, д. 77;
тел. 99-88-94

Шошин Евгений Александрович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Строительные материалы и технологии»
E-mail: shoshin234@mail.ru

Ивашенко Юрий Григорьевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительные
материалы и технологии»
E-mail: smt@sstu.ru

Yuri Gagarin State technical university of
Saratov

Russia, 410054, Saratov, 77, Polytechnic St.,
tel. 99-88-94

Shoshin Evgeny Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building materials and
technologies Department»
E-mail: shoshin234@mail.ru

Ivashchenko Yury Grigorievich,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Head of the department «Building materials
and technologies»
E-mail: smt@sstu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ЦЕМЕНТНЫХ ГИДРОСИЛИКАТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИЗОМЕРНЫМИ ДИСАХАРИДАМИ

Е.А. Шошин, Ю.Г. Ивашенко

EDS-методом изучена взаимосвязь структуры модифицирующего углевода и элементного состава модифицированных гидросиликатов кальция цементного камня. Обнаружено, что присутствие модифицирующего углевода приводит к изменению C/S-отношения гидросиликатов и значительному увеличению содержания структурной воды.

Ключевые слова: портландцемент, модифицированные гидросиликаты кальция, сахароза, мальтоза, лактоза, сканирующая электронная микроскопия, элементный анализ

STUDY OF COMPOSITION OF CEMENT HYDROSILICATES MODIFIED BY ISOMERIC DISACCHARIDES

E.A. Shoshin, Y.G. Ivashchenko

Interrelation of modifying carbohydrate structure and element composition of modified calcium hydrosilicates of cement stone was studied by EDS method it is. Discovered that the presence of carbohydrate modifier leads to a change in C/S-relationship of hydrosilicates and a significant increase of structural water content.

Keywords: portland cement, modified calcium hydro-silicates, sucrose, maltose, lactose, scanning electron microscopy, elemental analysis

Вопрос о состоянии углеводов в системе цементных гидросиликатов кальция до сих пор остается дискуссионным. Этому есть несколько причин. С одной стороны, цементная система является полиминеральной, взаимодействие компонентов которой с органическими добавками часто носит взаимообуславливающий характер [1]. С другой стороны, углеводы способны существенно повлиять на кинетику гидратационных процессов, причем глубина и характер этого влияния определяются молекулярно-химическими свойствами углевода [2]. С третьей стороны, в присутствии углеводов существенно меняется коллоидно-химическое состояние компонентов системы [3–7]. Все это делает исследовательскую задачу чрезвычайно сложной. Тем не менее совершенствование инструментальной исследовательской базы и накопленный обширный опыт исследования модифицированных цементных систем позволяют констатировать, что углеводы концентрируются в гелевой фазе цементного камня [8], а их поведение

определяется характером адсорбционных связей с минеральной поверхностью как гидросиликатов, так и негидратированных силикатов кальция [2, 9]. При этом обнаружено, что присутствующие в составе гелевой фазы цементного камня углеводы влияют на ее устойчивость к дегидратации [8] и декальцинации [10]. В связи с этим возник вопрос о наличии связи структуры модифицирующего углевода и состава гелевых фаз.

Для решения этого вопроса был использован сканирующий электронный микроскоп с полевым катодом JEOL JSM 7001FA, оборудованный EDS-приставкой для элементного анализа, позволяющей определять локальный элементный состав исследуемой поверхности.

Электронно-микроскопическое исследование проводилось в Центре коллективного пользования «Исследование высокотемпературных сверхпроводников и других сильно-коррелированных электронных систем» (ЦКП ФИАН), г. Москва.

Исследованию были подвергнуты образцы гидратированного цемента, модифицированного изомерными углеводами сахара, D-мальтоза и D-лактоза с общей брутто-формулой $C_{12}H_{22}O_{11}$ в количестве 2 % от массы цемента. В качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ II/В-Ш 32,5 Н ОАО «Вольскцемент».

Образцы гидратированного модифицированного цемента готовились по схеме [11], включающей помол цементной суспензии в шаровой мельнице, отделение твердой фазы фильтрацией и ее сушку ацетоном. Из полученной массы методом прессования формовались образцы, которые окончательно высушивались над СаО до постоянной массы. Для учета процессов карбонизации атмосферным CO_2 параллельно был подготовлен контрольный образец, не содержащий углеводов (табл. 1, рис. 1).

Т а б л и ц а 1

Результаты элементного анализа контрольного образца

Элемент	Весовой %	Атомный %
C	2,35	4,20
O	48,99	65,76
Na	0,16	0,15
Mg	1,33	1,17
Al	2,17	1,73
Si	13,47	10,30
S	0,98	0,66
K	0,62	0,34
Ca	27,63	14,81
Fe	2,30	0,88
Итого	100,00	

Как видно из данных элементного анализа, в составе образца присутствует незначительное количество углерода – продукт карбонизации $Ca(OH)_2$ на поверхности образца. При этом не снимке не удастся выделить области исключительного присутствия $Ca(OH)_2$ или силикатов – картирование по Са и Si демонстрирует относительно высокую равномерность распределения данных элементов на исследуемой поверхности. Следует отметить, что в выбранных условиях исследования незначительная карбонизация $Ca(OH)_2$ не влияет на точность оценки среднего Са/Si-отношения полученных гидросиликатов.

В составе образца также присутствует значительное количество железа, что обусловлено загрязнением образца продуктами износа мельющих тел мельницы.

Как видно из данных элементного анализа, среднее отношение Са/Si в гелевых фазах контрольного образца равно 1,43, что несколько ниже, чем в CSH(II)-фазах ($C/S=1,5$) и существенно ниже того же показателя CSH(I)-фаз ($C/S>1,5$). Причины такого отклонения показателя Са/Si-отношения объясняются, видимо, высоким В/Ц исходной суспензии.

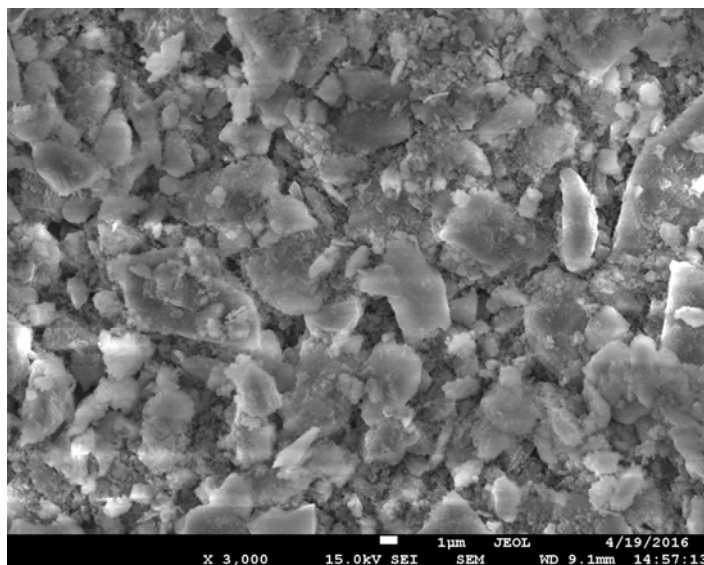


Рис. 1. Микрофотография контрольного образца цементных гидросиликатов

Анализ полученных данных (табл. 2) и результатов картирования по элементам приводит к выводу, что многократное повышение содержания углерода в образце, модифицированном мальтозой, связан с диффузией углевода в приповерхностные слои образца в процессе его подготовки к исследованию. Т.к. мальтоза легко окисляется в соответствующую кислоту, то вместе с углеводом наблюдается миграция Ca^{2+} , что в итоге приводит к видимому снижению содержания других элементов. Взаимодействие Ca^{2+} с сахарными кислотами возможно как по кислотно-основному, так и по донорно-акцепторному механизмам с образованием соединений общей формулы $\text{Ca}(\text{Alk})_2$. Если учесть карбонизацию образца и количество кальция, мигрировавшего вместе с мальтозой, то Ca/Si-отношение в данном образце находится в пределах 1,67. Следует отметить, что подобная диффузионная миграция не наблюдается в случае модификации сахарозой и лактозой, где массовое содержание углерода с учетом карбонизации составляет 0,84 % и 0,49 % соответственно.

Т а б л и ц а 2

Результаты элементного анализа модифицированных образцов

Элемент	Весовой %	Атомный %	Ca/Si
Модификатор лактоза			
C	2,84	5,00	1,38
O	50,39	66,47	
Al	2,19	1,71	
Si	13,14	9,87	
Ca	25,90	13,64	
Модификатор сахароза			
C	3,19	5,71	1,55
O	47,90	64,35	
Al	2,03	1,62	
Si	12,77	9,77	
Ca	28,35	15,20	
Модификатор мальтоза			
C	17,40	28,13	1,82
O	40,42	49,05	
Al	1,58	1,14	
Si	9,83	6,80	
Ca	25,64	12,42	

Полученные данные позволяют произвести оценку состава модифицированных гидратных фаз, который, с учетом вышеуказанных факторов, может быть выражен брутто-формулами. В случае модификации цемента лактозой состав гидратных фаз выражается формулой $10\text{SiO}_2 \cdot 14\text{CaO} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, в случае модифицирования сахарозой – $10\text{SiO}_2 \cdot 15\text{CaO} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$, а в случае использования мальтозы – $7\text{SiO}_2 \cdot 11\text{CaO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При этом гидратные фазы контрольного образца описываются формулой $10\text{SiO}_2 \cdot 15\text{CaO} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Обращает на себя внимание относительно высокая степень идентичности составов, модифицированных лактозой и сахарозой, контрольному составу – основные различия наблюдаются в количестве структурной воды, содержание которой в модифицированных составах удвоенное. Последнее свидетельствует о расположении молекул углеводов в межслоевом пространстве тоберморит-подобной структуры гелевых силикатов [5, 6, 12], где увеличение дефектности сопровождается ростом водосодержания. Такое поведение системы может быть свидетельством образования твердых растворов SiO_2 - CaO -Углевод- H_2O . Особняком стоит мальтоза, высокая диффузионная подвижность которой может свидетельствовать либо о высокой дефектности силикатных структур, образуемых в ее присутствии, либо о расположении молекул углевода на межфазных поверхностях, аналогично ПАВ. Однако этот вопрос требует дополнительных исследований.

Таким образом, в выбранных условиях гидратации портландцемента в отсутствие модификаторов формируются гидросиликатные фазы с повышенным содержанием кремния ($C/S=1,43$).

Природа модифицирующего углевода способна существенно влиять на величину Ca/Si -отношения гидратных фаз цемента.

Углеводы концентрируются в межслоевом пространстве слоистых гидросиликатов, образуя фазы с повышенным содержанием структурной воды. Исключение из рассмотренных углеводов составляет мальтоза, чья высокая диффузионная подвижность свидетельствует о слабой вовлеченности мальтозы в структуру гидросиликатов.

Список литературы

1. The properties of cementitious materials superplasticized with two superplasticizers based on aminosulfonate–phenol–formaldehyde / P. Meishan [etc.] // *Construction & Building Materials*. – 2008. – № 22. – P. 2382–2385.
2. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces / B.J. Smith [etc.] // *PNAS*. – 2011. – Vol. 108. – No.22. – P. 8949–8954.
3. Garcí Juenger, Maria C. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes / M.C. Garcí Juenger, H.M. Jennings // *Cement and Concrete Research*. – 2002. – V.32. – P. 393–399.
4. Abalaka, A.E. Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland Cement Paste and Concrete / Akogu Elijah Abalaka // *A.U. J.T.* – 2011. – Vol. – №14 (3). – P. 225–228.
5. Jennings, H.M. A model for the microstructure of calcium silicate hydrate in cement paste / H.M. Jennings // *Cem. Concr. Res.* – 2000. – Vol.30. – P. 101–116.
6. Tennis, P.D. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure of Portland cement pastes / P.D. Tennis, H.M. Jennings // *Cem. Concr. Res.* – 2000. – Vol. 30. – P. 855–863.
7. Шошин, Е.А. Исследование электрокинетического потенциала модифицированных углеводами цементных паст на начальной стадии гидратации / Е.А. Шошин, А.А. Широков // *Вестник БГТУ им. Шухова*. – 2015. – №5. – С. 235–240.
8. Шошин Е.А. Термическая устойчивость углеводов-минеральных комплексов в составе модифицированного цементного камня / Е.А. Шошин, Р.В. Петров // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2014. – №6. – С. 15–17.
9. Effect of saccharide set Retarders on the hydration of ordinary Portland cement and pure tricalcium silicate / L. Zhang [etc.] // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2010. – №93. – P. 279–287.

10. Шошин, Е.А. Исследование деградации наноструктуры C-S-H-фаз модифицированного цементного камня в процессе декальцинации / Е.А. Шошин, А.В. Поляков, А.М. Буров // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2016. – №2. – С.25–31.

11. Шошин, Е.А. Соотношение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – сахара как фактор влияния на морфологию аморфных гидросиликатов кальция / Е.А. Шошин [и др.] // Научное обозрение. – 2015. – №16. – С.168–179.

12. Solubility and structure of calcium silicate hydrate / J.J. Chen, J.J. Thomas, H.W. Taylor, H.M. Jennings // Cement and Concrete Research. – 2004. – №34. – P. 1499–1519.

References

1. The properties of cementitious materials superplasticized with two superplasticizers based on aminosulfonate–phenol–formaldehyde / P. Meishan [etc.] // Construction & Building Materials. – 2008. – № 22. – P. 2382–2385.

2. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces / B.J. Smith [etc.] // PNAS. – 2011. – Vol. 108. – No.22. – P. 8949–8954.

3. Garci Juenger, Maria C. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes / M.C. Garci Juenger, H.M. Jennings // Cement and Concrete Research. – 2002. – V.32. – P. 393–399.

4. Abalaka, A.E. Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland Cement Paste and Concrete / Akogu Elijah Abalaka // A.U. J.T. – 2011. – Vol. – №14 (3). – P. 225–228.

5. Jennings, H.M. A model for the microstructure of calcium silicate hydrate in cement paste / H.M. Jennings // Cem. Concr. Res. – 2000. – Vol.30. – P. 101–116.

6. Tennis, P.D. A model for two types of calcium silicate hydrate in the microstructure of Portland cement pastes / P.D. Tennis, H.M. Jennings // Cem. Concr. Res. – 2000. – Vol. 30. – P. 855–863.

7. Shoshin, E.A. Study of the electrokinetic potential carbohydrate-modified cement paste at the initial stage of hydration / E.A. Shoshin, A.A. Shirokov // Vestnik BGTU named of Shukhov. – 2015. – №5. – P. 235–240.

8. Shoshin, E.A. Thermal stability of carbohydrate-mineral complexes in modified cement composition of the stone / E.A. Shoshin, R.V. Petrov // Vestnik BGTU named of Shukhov. – 2014. – №6. – P. 15–17.

9. Effect of saccharide set Retarders on the hydration of ordinary Portland cement and pure tricalcium silicate / L. Zhang [etc.] // J. Am. Ceram. Soc. – 2010. – №93. – P. 279–287.

10. Shoshin, E.A. Study of the degradation of the nanostructure of C-S-H-phases of the modified cement stone in the process of decalcification / E.A. Shoshin, A.V. Polyakov, A.M. Burov // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2016. – №2. – P.25–31.

11. The ratio of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and sucrose as a factor of influence on the morphology of amorphous calcium hydrosilicates / E.A. Shoshin [и др.] // Научное обозрение. – 2015. – №16. – С.168–179.

12. Solubility and structure of calcium silicate hydrate / J.J. Chen, J.J. Thomas, H.W. Taylor, H.M. Jennings // Cement and Concrete Research. – 2004. – №34. – P. 1499–1519.

УДК 691-419.5

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

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68,
тел.: (8342)47-71-56; факс: (8342)47-71-56

Селяев Павел Владимирович,
кандидат технических наук, доцент
E-mail: ntorm80@mail.ru

Киселев Николай Николаевич,
аспирант кафедры строительных
конструкций
E-mail: nicolay1992@mail.ru

Лияскин Олег Викторович,
магистрант
E-mail: oliyaskin@mail.ru

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

Russia, 430000, Saransk, 68,
Bolshevistskaya St.,
tel.: +7(8342)47-71-56; fax: +7(8342)47-71-56

Seljaev Pavel Vladimirovich,
Candidat of Science, Associate Professor
E-mail: ntorm80@mail.ru

Kiselev Nikolay Nikolaevich,
Postgraduate student of the department
«Building designs»
E-mail: nicolay1992@mail.ru

Liyaskin Oleg Viktorovich,
Undergraduate
E-mail: oliyaskin@mail.ru

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПОРОШКОВОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

П.В. Селяев, Н.Н. Киселев, О.В. Лияскин

Обоснована возможность создания новых теплоизоляционных материалов и производства на их основе вакуумных теплоизоляционных панелей.

Ключевые слова: диатомит; дисперсный микрокремнезем; вакуумная теплоизоляционная панель

PRINCIPLES OF CREATING POWDER INSULATION ON THE BASIS OF SILICA FUME

P.V. Selyaev, N.N. Kiselev, O.V. Liyaskin

The article studies the possibility of new insulating materials development. The study has proved the possibility of using local minerals for vacuum insulated panel production.

Keywords: diatomite; dispersed silica fume; vacuum insulating panel

Когда на строительство и эксплуатацию зданий расходуется около половины всей вырабатываемой энергии, задачи энергосбережения, энергоэффективности становятся все более актуальными и проблема создания эффективной теплоизоляции выдвигается на первый план. Особый интерес представляют технологии создания теплоизоляционных материалов с наноструктурированным поровым пространством на основе микро-размерных минеральных порошков. В 1960-е годы в Советском Союзе работа по созданию теплоизоляции на основе вакуумированных дисперсных порошков проводилась сотрудниками кафедры теплофизики Ленинградского института точной механики и оптики под руководством Г. Н. Дульнева. Была создана порошковая теплоизоляция с вакуумированием, которая применялась преимущественно в криогенной технике. Высокая стоимость материалов и ряд других причин не позволили организовать её применение в строительной отрасли.

Однако в последнее десятилетие, когда энергосбережение стало одним из основных направлений развития строительной индустрии, решению этой проблемы уделяется все больше внимания; в том числе, ей посвящены работы кафедры строительных конструкций НИ МГУ им. Н.П. Огарева под руководством академика РААСН Селяева Владимира Павловича [1–14].

Известно, что теплопроводность в дисперсных порошковых структурах обеспечивается в основном конвективным теплообменом воздуха или другого газа, но чем меньше размер пор или пустот в материале, тем больше замедляется процесс конвекции и, следовательно, теплопроводность понижается. А в нанопористом материале с размером пор около 10 нм механизм передачи тепла молекулами воздуха (газа) практически исключается при давлении 100 Па. Наиболее подходящими и перспективными для создания эффективной теплоизоляции материалами такого рода являются минеральные порошки на основе диатомитов и цеолитсодержащих пород, частицы которых имеют собственную поровую структуру наноразмерного уровня. Взаимодействуя между собой, частицы образуют кластеры с поровой структурой второго уровня, которая зависит от типа упаковки частиц, и ее пористость может находиться в пределах от 0,26 (тетраэдрическая укладка шаровых частиц) до 0,47 (кубическая). Поровую структуру третьего уровня формируют кластеры и частицы, образующие каркас с крупными пустотами. Сеть пустот, пронизывающих каркас, образует поровую структуру четвертого уровня [4].

Под руководством академика РААСН В.П. Селяева разработана технология получения золь-методом нанопорошков микрокремнезема на основе природного диатомита. Проведены исследования свойств полученного порошка микрокремнезема; выявлены его преимущества (кроме доступности) перед отечественными и зарубежными аналогами; оценена возможность его применения для создания вакуумных теплоизоляционных панелей и других теплоизоляционных материалов [11].

В исследованиях Н. Giesche, Р. Айлера установлено, что субчастицы сферических частиц SiO_2 размером 10 нм и даже меньше 5 нм могут изменяться от образца к образцу и не всегда могут быть зарегистрированы методом электронной микроскопии. Подобные выводы также приведены в работах В.А. Неверова и В.П. Селяева [2–14]. В них предложена теория, согласно которой частицы SiO_2 образуют кластеры, состоящие из ядра, составленного первичными частицами диаметром 5–10 нм, и оболочек, состоящих из слоев вторичных частиц размером 20–40 нм, окруженных слоями первичных частиц. Исследованы варианты распределения первичных частиц в оболочках и топология поровой системы, возникающей при этом. Установлено, что фрактальная и поровая структуры частиц кремнезема обеспечиваются параметрами синтеза и условиями среды, в которой он происходит.

Для обеспечения высоких теплозащитных свойств наполнитель сердцевины ВИП должен состоять из аморфных пористых частиц нано- и субмикрометровых размеров с развитой поверхностью, объединенных в полидисперсную систему, и сетью различных пустот. Данным требованиям удовлетворяет микрокремнезем, полученный в Республике Мордовия из природного диатомита Атемарского месторождения, который представляет собой порошок серого цвета, состоящий из панцирей вымерших водорослей. Этот диатомит был изучен в работах: «Возможность создания теплоизоляционных материалов на основе наноструктурированного микрокремнезема из диатомита» [1], «Свойства микрокремнезема из природного диатомита и его применение в производстве вакуумных теплоизоляционных панелей» [7] и других, где представлена технология получения микрокремнезема, а также приведено сравнение диатомита Атемарского месторождения и других тонкодисперсных порошков, производимых в Российской Федерации. Химический состав данного материала включает в себя следующие оксиды (в процентном отношении): TiO_2 – 1,47; MgO – 1,49; Fe_2O_3 – 3,36; CuO – 2,54; R_2O_3 – 8,84; Al_2O_3 – 4,01; SiO_2 – 79,50; прочие – 7,90; истинная плотность – 2200 кг/м³.

Микрокремнезем из Атемарского диатомита добывали путем осаждения кремниевой кислоты из коллоидно-растворенного состояния. Для этого в муфельной печи при температуре 800 °С сплавляли диатомитовую породу со щелочными плавнями. Данный расплав выщелачивали раствором соляной кислоты и водой. При проведении операций производился мониторинг: содержания SiO_2 ; потерь веса во время прокаливании; значений рН.

Для анализа учитывались характеристики: истинная плотность γ_u ; насыпная плотность γ_n ; крупность частиц d ; удельная поверхность S . По значениям плотности пористость порошков определялась по формуле $P = 1 - \gamma_n / \gamma_u$.

После сравнительного анализа авторы работ [7, 8, 10, 11] пришли к выводу, что пористость зернистой системы из наноразмерных частиц микрокремнезема, полученного из диатомита Атемарского месторождения в условиях свободной засыпки, составляет более 90 %, что позволяет получать высокоэффективные теплоизоляционные материалы с теплопроводностью $0,001 \div 0,006$ Вт/м·град.

Результаты исследований Атемарского диатомита продемонстрированы и в других работах [4, 5]. Исследования структуры осажденного микрокремнезема проводились методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-6. Этот метод показал, что диоксид кремния дисперсного микрокремнезема представлен аморфной фазой.

Инфракрасные спектры микрокремнезема, синтезированного из диатомита Атемарского месторождения, указывают на то, что поровое пространство материала частично заполняют адсорбированные молекулы воды [7].

Анализ гранулометрических характеристик аморфного микрокремнезема Фурье-спектрометром «Инфралюм ФТ-02» показал, что в состав этого полидисперсного материала входит до 17 % посторонних включений (агломератов) масштаба 330...450 нм.

В [5, 14] описаны исследования процессов, происходящих при нагревании дисперсного микрокремнезема, методами термогравиметрического анализа в интервале температур 25...1200 °С, со скоростью увеличения температуры 10 °С/мин. В процессе прокаливания наблюдается три этапа потери массы. На первом этапе, в промежутке температур 66,9–165,2 °С, из-за испарения адсорбированной воды образец теряет 21,5 % исходной массы. Пик эндотермического процесса приходится на 120,5 °С, а его высота достигает 2,9 °С. Второй, менее существенный скачок высотой 0,7 °С приходится на 315,7 °С, а интервал эффекта приходится на 248,6–406,0 °С. Потери массы составляют 5,7 %. На третьем этапе нагрева, который находится в пределах 420,5–494,0 °С, происходит ещё 1,7 % потерь массы, что связано со структурными перестройками полиморфных модификаций диоксида кремния. В итоге при нагревании дисперсного микрокремнезема до температур выше 500 °С за счет удаления адсорбированных молекул воды образец теряет около 31 % своей массы. Следовательно, для полного удаления воды из данного порошка необходимо его прокаливание при температурах 400...600 °С [5, 14].

Хорошо известно, что эффективная теплопроводность порошкообразного микрокремнезема находится в линейной зависимости от плотности (в интервале 200–360 кг/м³); аналогичная тенденция справедлива и для природного диатомита Атемарского месторождения. Это объясняется увеличением кондукционной составляющей теплопроводности вследствие уменьшения пористости многокомпонентной системы с взаимопроникающими элементами. Установлено, что теплопроводность порошкообразного микрокремнезема меньше, чем у природного, при сопоставимой плотности [3].

В процессе изучения структурных неоднородностей частиц SiO₂ было установлено, что их средние размеры составляют 12 нм, а линейные масштабы находятся в пределах 2–20 нм, что соответствует размерам пустот между первичными сферическими частицами при их упаковке в период самоорганизации и образования частиц SiO₂ микро- и нанометровых размеров [5–7].

Рассеивающие неоднородности, обнаруженные в микрокремнеземе, полученном из диатомита Атемарского месторождения, представляют собой массовые фракталы, а поверхности раздела пор – твердое тело, имеющее фрактальную размерность 2,64 [6].

Анализ топографических данных, гранулометрического и химического составов поверхности частиц аморфного микрокремнезема, полученного из природного диатомита Атемарского месторождения, и частиц микрокремнезема российского и иностранного производства позволяет заключить: по гранулометрии, химическому составу и топографии поверхности порошок аморфного микрокремнезема отличается от природного диатомита и близок по свойствам и составу к порошку иностранного

производства (который рассматривался как контрольный), применяемому в производстве теплоизоляционных панелей FRONT-VIP и выпускающемуся в промышленных масштабах [4, 5, 7].

Фрактальный анализ аморфного микрокремнезема методом малоуглового рентгеновского рассеяния дал схожие с характеристиками порошка FRONT-VIP результаты [8].

Таким образом, исследованные микрокремнеземы имеют незначительные расхождения по своим физико-химическим параметрам как между собой, так и по сравнению с материалом сердцевины ВИП-панелей иностранного производства, и после модификации возможно их применение в качестве компонентов наполнителей вакуумной теплоизоляции [1, 14].

С целью производства вакуумной теплоизоляции были разработаны составы материала наполнителя с различным содержанием порошка аморфного микрокремнезема, армирующих волокон, замутнителей и осушителей, а также отработана технология производства. ВИП-панели состоят из прессованной сердцевины и оболочки с высокими барьерными свойствами, которая запаивается по окончании процесса вакуумирования и достижении заданных показателей давления. Технологические операции выполняются с применением вакуум-упаковочной машины типа Henkelman Polar 52.

Экспериментальные исследования зависимости свойств ВИП-панелей от состава наполнителей производились в соответствии с планом Коно. Определено, что теплопроводность вакуумных теплоизоляционных изделий с применением различных составов материалов наполнителей варьируется от 0,0204 до 0,0268 Вт/м²°С, что сопоставимо с показателями зарубежного аналога FRONT-VIP ($\lambda=0,018-0,022$ Вт/м²°С).

Анализ работ, выполненных под руководством академика РААСН Селяева В.П. на тему «Вакуумные теплоизоляционные панели», позволяет утверждать, что создание вакуумных теплоизоляционных панелей на основе природных диатомитов дает возможность: обеспечить высокие теплозащитные свойства ограждающих конструкций; создать конкурентоспособные экологически чистые огнестойкие изделия.

Список литературы

1. Возможность создания теплоизоляционных материалов на основе наноструктурированного микрокремнезема из диатомита / В.П. Селяев [и др.] // Наука: 21 век. – 2011. – №3(15). – С. 76–86.
2. ИК-спектры перспективных теплоизоляционных материалов на основе микрокремнеземов / В.П. Селяев [и др.] // Приволж. науч. журн. – 2012. – №4. – С. 75–79.
3. Полиструктурная модель теплопроводности материала на основе дисперсного микрокремнезема / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №. 2 (13). – С. 5–11.
4. Теплоизоляционные свойства материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков / В.П. Селяев [и др.] // Строительные материалы. – 2013. – № 1. – С.61–63.
5. Микроструктура теплоизоляционных материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков / В.П. Селяев, В.А. Неверов, О.Г. Маштаев, В.В. Сидоров // Строительные материалы. – 2013. – № 8. – С. 79–80.
6. Микроструктура перспективных теплоизоляционных материалов на основе диатомитов Среднего Поволжья / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1 (15). – С. 12–17.
7. Свойства микрокремнезема из природного диатомита и его применение в производстве вакуумных теплоизоляционных панелей / В.П. Селяев, В.А. Неверов, О.Г. Маштаев, А.В. Колотушкин // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7. – С. 15–25.
8. Фрактальные характеристики структуры теплоизоляционных материалов / В.П. Селяев, В.А. Неверов, П.В. Селяев, Е.Л. Кечуткина // Academia. Архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 121–124.
9. Селяев, В.П. Прогнозирование теплопроводности и оценка структурных характеристик зернистых систем для создания теплоизоляционных материалов нового поколения / В.П. Селяев, В.А. Неверов, Л.И. Куприяшкина // Academia. Архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 89–93.

10. Природные и искусственные микрокремнеземы в качестве наполнителей вакуумных изоляционных панелей / В.П. Селяев, В.А. Неверов, Л.И. Куприяшкина, О.Г. Маштаев // *Строительные материалы*. – 2014. – № 10. – С. 59–65.
11. Моделирование технологических режимов модификации природного диатомита для увеличения содержания аморфного диоксида кремния / В.П. Селяев [и др.] // *Известия вузов. Сер. Строительство*. – 2015. – № 3. – С. 5-13.
12. Вакуумные теплоизоляционные панели на основе модифицированного диатомита / В.П. Селяев, В.А. Неверов, О.Г. Маштаев, Н.Н. Киселев // *Огарев-online*. – 2014. – Спецвыпуск. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/vakuumnye-teploizolyacionnye-paneli-na-osnove-modificirovannogo-diatomita>
13. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперстных порошков микрокремнезема и диатомита : монография / В.П. Селяев [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – 220 с.
14. Selyaev, V.P. Diatomite Middle Volga. Structure and properties / V.P. Selyaev [etc.] // *Science, Technology and Higher Education*. – Westwood, Canada, April 17th, 2013. – Vol. II. – P. 218–227.

References

1. Ability to create a heat-insulating materials based on nanostructured silica fume diatomite / V.P. Selyaev [etc.] // *Science* : 21. – 2011. – N 3 (15). – P. 76–86.
2. ИК- спектра promising thermal insulation materials based on silica fume / V.P. Selyaev [etc.] // *Privolzhskii scientific journal*. – 2012. – N 4. – P. 75–79.
3. Polystructural model insulating material based on particulate fume / V.P. Selyaev [etc.] // *Regional architecture and engineering*. – 2012. – N 2. – P. 5–11.
4. Insulating properties of materials on the basis of fine mineral powders / V.P. Selyaev [etc.] // *Building Materials*. – 2013. – N 1. – P. 61–63.
5. The microstructure of the heat-insulating materials on the basis of fine mineral powders / V.P. Selyaev, V.A. Neverov, O.G. Mashtaev, V.V. Sidorov // *Building Materials*. – 2013. – N 8. – P. 79–80.
6. Microstructure advanced thermal insulation materials based on diatomite Middle Volga / V.P. Selyaev [etc.] // *Regional architecture and engineering*. – 2013. – N 1 (15). – P. 12–17.
7. Properties fume from natural diatomite and its application in the manufacture of vacuum insulated panels / V.P. Selyaev, V.A. Neverov, O.G. Mashtaev, A.V. Kolotushkin // *Civil Engineering Journal*. – 2013. – N 7. – P. 15–25.
8. Fractal characteristics of thermal insulation materials structure / V.P. Selyaev, V.A. Neverov, P.V. Selyaev, E.L. Kechutkina // *Academia. Architecture and Construction*. – 2013. – N 2. – P. 121–124.
9. Selyaev, V.P. Prediction of thermal conductivity and evaluation of the structural characteristics of granular systems to create thermal insulating materials of new generation / V.P. Selyaev, V.A. Neverov, L.I. Kupriyashkina // *Academia. Architecture and Construction*. – 2014. – N 1. – P. 89–93.
10. Natural and artificial microsilica as fillers vacuum insulation panels / V.P. Selyaev, V.A. Neverov, L.I. Kupriyashkina, O.G. Mashtaev // *Building materials*. – 2014. – N 10. – P. 59–65.
11. Modelling of technological modes of natural diatomite modification to increase the content of amorphous silicon dioxide / V.P. Selyaev [etc.] // *Proceedings of the universities. Building*. – 2015. – N 3. – P. 5–13.
12. Vacuum insulated panels on the basis of the modified diatomite / V.P. Selyaev [etc.] // *Ogarev-online*. – 2014 – Special Edition. – Access mode: <http://journal.mrsu.ru/arts/vakuumnye-teploizolyacionnye-paneli-na-osnove-modificirovannogo-diatomita>
13. Thermal insulation materials and products on the basis of evacuated disperstnyh powder microsilica and diatomaceous earth: monograph / V.P. Selyaev [etc.]. – Saransk: Publishing House of the Mordovian University Press, 2013. – 220 p.
14. Diatomite Middle Volga. Structure and properties / V.P. Selyaev [etc.] // *Science, Technology and Higher Education*. – Westwood, Canada, April 17th, 2013. – Vol. II. – P. 218–227.

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

Гаврилов Михаил Александрович,
старший преподаватель кафедры
«Начертательная геометрия и графика»
E-mail: gavrillov79@inbox.ru

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

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

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

Пензенский государственный технологический университет

Россия, 440039, г. Пенза,
проезд Байдукова / ул. Гагарина, 1а / 11,
тел. (8412) 49-54-41 факс (8412) 49-60-86

Худяков Владислав Анатольевич,
кандидат технических наук, профессор,
проректор по непрерывному образованию

Penza State University of Architecture and Construction

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

Gavrilov Mikhail Aleksandrovich,
Senior Tutor of the department «Descriptive
Geometry and Graphics»
E-mail: gavrillov79@inbox.ru

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

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

Yerofeev Vladimir Trofymovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of
department «Building materials and
technology»

Penza State Technological University

Russia, 440039, Penza,
1A / 11 Baidukova / Gagarin St.,
tel. (8412) 49-54-41 fax (8412) 49-60-86

Hudjakov Vladislav Anatolievich,
Candidate of Sciences, Professor, Head of the
Department of Continuous Education

ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АСБЕСТОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

М.А. Гаврилов, В.Т. Ерофеев, В.А. Худяков

Изложены особенности химического сопротивления наполненных эпоксидных композитов с наполнителями на основе отходов строительного и химического производств. Выявлены характерные зависимости основных показателей химического сопротивления эпоксидных композитов на основе отходов производства от длительности экспозиции в агрессивных средах. Подобран оптимальный вид наполнителя для химически стойкого эпоксидного композита на основе тонкодисперсных отходов строительного производства.

Ключевые слова: эпоксидный композит, наполнитель, отходы производства, химическое сопротивление

CHEMICAL RESISTANCE OF EPOXY COMPOSITES ON THE BASIS OF ASBESTOS INDUSTRIAL WASTE

M.A. Gavrilov, V.T. Erofeev, V.A. Hudjakov

Chemical resistance properties of asbestos industrial and chemical waste-filled epoxy composites have been studied. Characteristic dependencies have been pointed out between basic properties of such composites and the length of exposure in aggressive environment. Optimal type of filler has been selected for chemically resistant composite, which is based on construction waste.

Keywords: epoxy composite, filler, industrial waste, chemical resistance

Полимерные композиты считаются наиболее стойкими по отношению к действию агрессивных сред среди конструкционных строительных материалов. Для прогнозирования их работоспособности и поиска возможности улучшения антикоррозионных свойств необходимо изучение поведения композитов в агрессивных средах [1, 5, 6].

Была поставлена цель исследования химического сопротивления составов, пригодных для изготовления материалов с целью защиты строительных конструкций от азотнокислой коррозии. Строительные конструкции на объектах химической промышленности подвергаются агрессивным воздействиям; также значительные механические нагрузки от напольного транспорта испытывают покрытия полов. В связи с вышеизложенным оправдано применение в подобного рода сооружениях эпоксидных композитов [1, 3].

Стойкость композитов в агрессивной среде оценивали по изменению совокупности показателей по сравнению с эталонными составами: массосодержания, разрушающего напряжения при сжатии, растяжении. Эпоксидные композиты модифицировались ультрадисперсными волокнами молотого шифера, серпентинита и отходов производства асбеста. Все образцы с вышеперечисленными компонентами были выдержаны в течение 180 суток в воде, 10 % растворах азотной кислоты и едкого натра. Из многочисленных экспериментов, ранее проведенных отечественными и зарубежными исследователями, известно, что наиболее высокую устойчивость в щелочных средах показывают составы на эпоксидных связующих. Таким образом, представляло большой интерес исследовать эпоксидные композиты, модифицированные асбестосодержащими отходами производства, в частности, молотым шифером.

Установлено, что независимо от состава композитов, вида агрессивных жидкостей, времени и температуры испытаний имеет место закономерное увеличение массы образцов, величина которого определяется вышеперечисленными факторами. При модификации эпоксидных композитов асбестосодержащим волокном происходит увеличение их массопоглощения, причем увеличение относительного массосодержания непосредственно зависит от количества вводимого модификатора. Так, если при введении ТДОСП в количестве 5 мас. ч. на 100 мас. ч. связующего относительное массосодержание имеет показатель, равный 0,95, то уже при увеличении содержания вводимого модификатора до 10 мас. ч. показатель возрастает до величины более 1,0 за 30 суток испытаний.

Проведенные исследования показали, что наибольшее массопоглощение ультрадисперсно-армированных композитов происходит в растворе азотной кислоты, а наименьшее – в воде и растворах щелочей. Из результатов также видно, что при модификации композита с помощью молотого шифера (тонкодисперсного отхода строительного производства, или ТДОСП) происходит уменьшение адсорбционных эффектов. В отличие от модификации эпоксидных композитов серпентинитом и отходом производства асбеста (волоконистого отхода химического производства, или ВОХП), где массопоглощение образцов возрастает пропорционально увеличению количества модификатора, при применении ТДОСП наблюдается иная картина. При увеличении количества вводимого ТДОСП адсорбция несколько падает.

Для установления химического сопротивления эпоксидных пресс-композитов в зависимости от вида заполнителя и технологии изготовления были проведены испытания составов на основе модифицированных эпоксидных связующих. Цель исследований состояла в установлении количественных зависимостей изменения массосодержания, прочности и жесткости эпоксидных композитов и пресс-композитов и разработке составов, стойких к воздействию воды и 5 %-го раствора азотной кислоты.

При проведении экспериментальных исследований прочность и деформативность композитов определяли на стандартных образцах, имеющих форму призмы с размерами 2×2×7 см. Был принят матричный состав, состоящий из следующих компонентов: эпоксидная смола ЭД-20 (100 мас. ч.), кремнийорганическая жидкость КО-922 (5 мас.ч.) и полиэтиленполиамин, количественное содержание которого с целью установления его оптимального количества варьировалось в пределах от 10 до 13 мас. ч. Результаты исследования приведены на рис. 1–8.

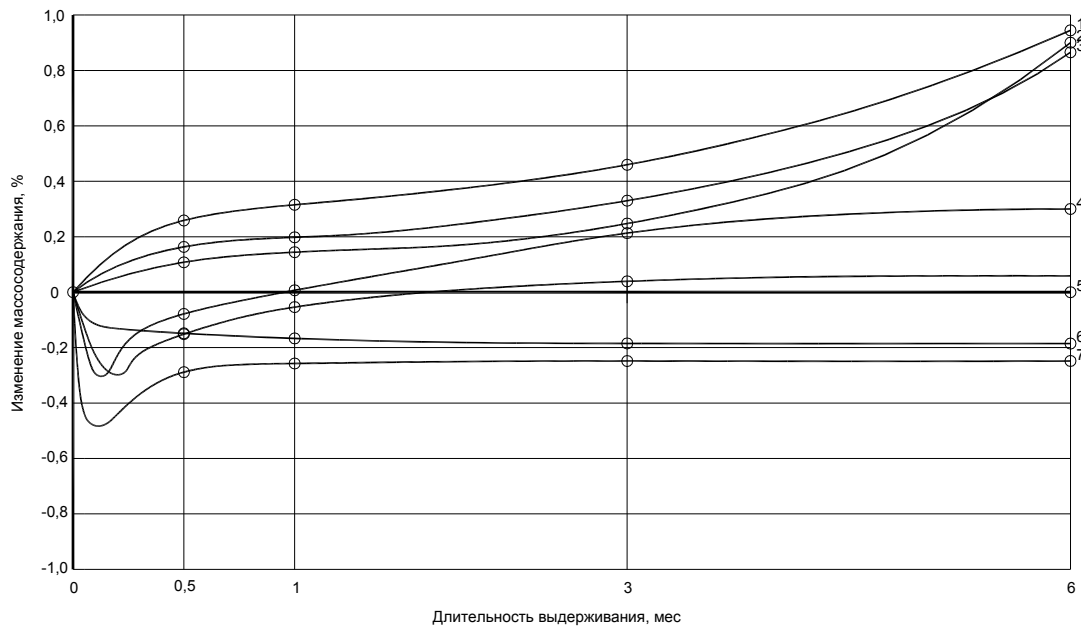


Рис. 1. Изменение массосодержания ЭКМ в воде:

1 – литевой композит на основе ВОХП; 2 – литевой композит на основе ТДОСП;
 3 – литевой состав – эталон; 4 – пресс-композит на основе ВОХП; 5 – пресс-композит на основе ТДОСП; 6 – вибропресс-композит на основе ВОХП; 7 – вибропресс-композит на основе ТДОСП

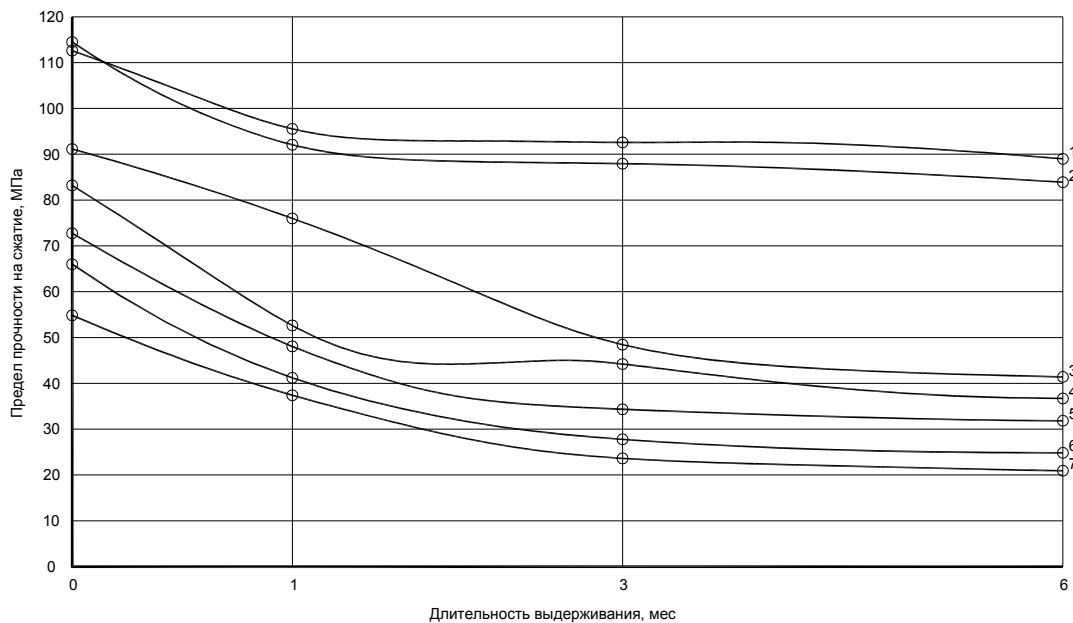


Рис. 2. Динамика изменения предела прочности на сжатие после экспозиции в воде:

1 – вибропресс-композит на основе ТДОСП; 2 – вибропресс-композит на основе ВОХП;
 3 – пресс-композит на основе ТДОСП; 4 – пресс-композит на основе ВОХП; 5 – литевой композит на основе ТДОСП; 6 – литевой композит на основе ВОХП;
 7 – литевой состав-эталон

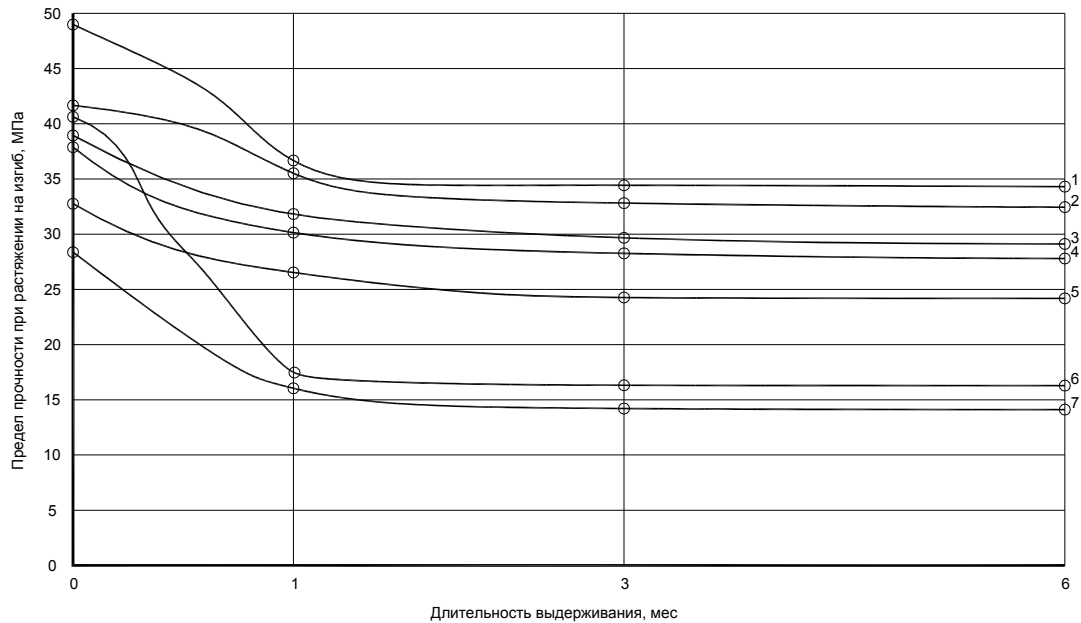


Рис. 3. Динамика изменения предела прочности на изгиб после экспозиции в воде:
 1 – вибропресс-композит на основе ТДОСП; 2 – вибропресс-композит на основе ВОХП;
 3 – пресс-композит на основе ТДОСП; 4 – пресс-композит на основе ВОХП;
 5 – литевой композит на основе ТДОСП; 6 – литевой композит на основе ВОХП;
 7 – литевой состав-эталон

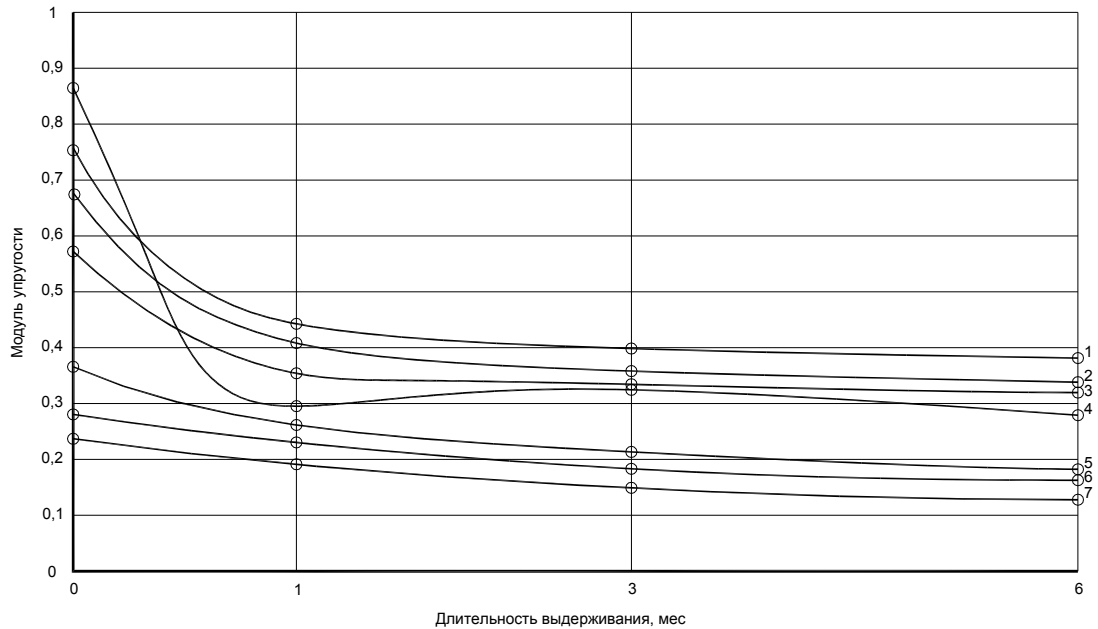


Рис. 4. Динамика изменения модуля упругости на сжатие после экспозиции в воде:
 1 – вибропресс-композит на основе ТДОСП; 2 – вибропресс-композит на основе ВОХП;
 3 – пресс-композит на основе ТДОСП; 4 – пресс-композит на основе ВОХП; 5 – литевой
 композит на основе ТДОСП; 6 – литевой композит на основе ВОХП;
 7 – литевой состав-эталон

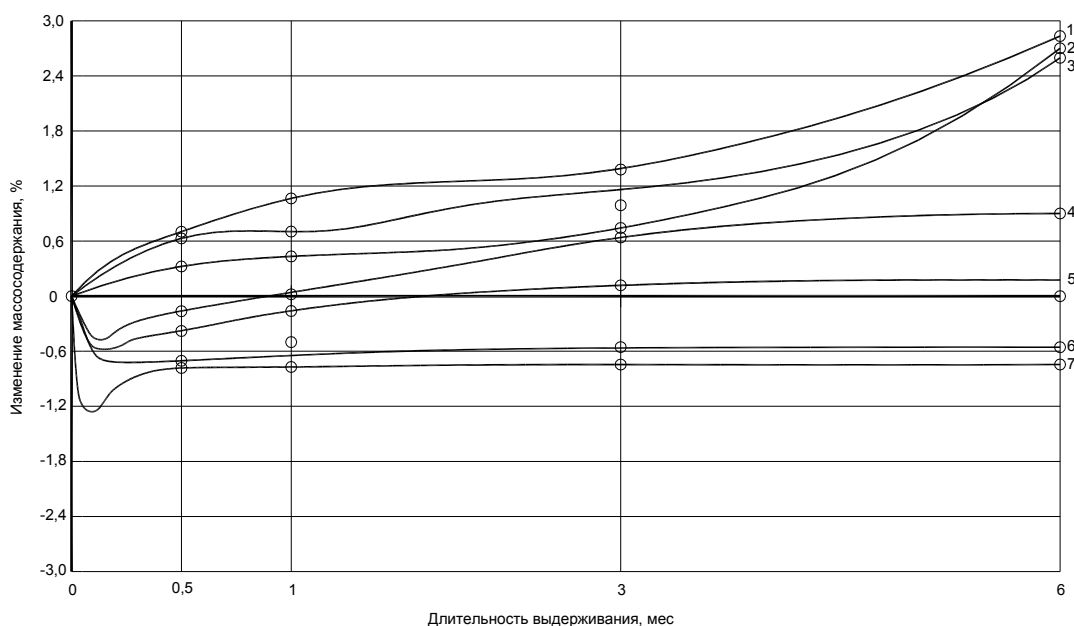


Рис. 5. Изменение массосодержания ЭКМ в растворе азотной кислоты:
 1 – литевой композит на основе ВОХП; 2 – литевой композит на основе ТДОСП;
 3 – литевой состав – эталон; 4 – пресс-композит на основе ВОХП; 5 – пресс-композит на основе ТДОСП; 6 – вибропресс-композит на основе ВОХП;
 7 – вибропресс-композит на основе ТДОСП

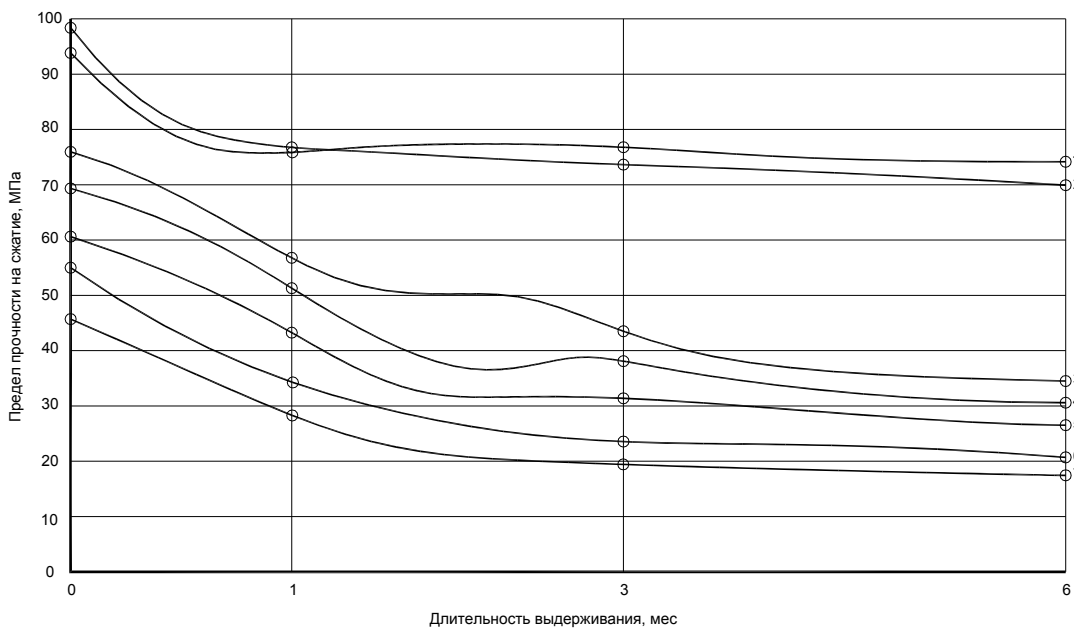


Рис. 6. Динамика изменения предела прочности на сжатие после экспозиции в растворе азотной кислоты:
 1 – вибропресс-композит на основе ТДОСП; 2 – вибропресс-композит на основе ВОХП;
 3 – пресс-композит на основе ТДОСП; 4 – пресс-композит на основе ВОХП;
 5 – литевой композит на основе ТДОСП; 6 – литевой композит на основе ВОХП;
 7 – литевой состав-эталон

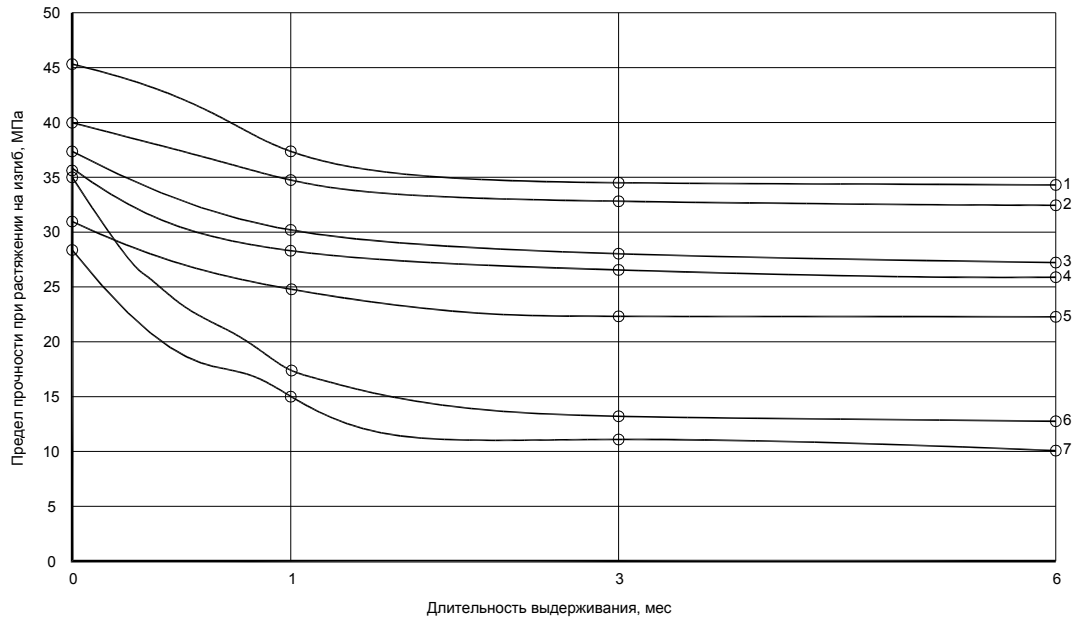


Рис. 7. Динамика изменения предела прочности на изгиб после экспозиции в растворе азотной кислоты:
 1 – вибропресс-композит на основе ТДОСП; 2 – вибропресс-композит на основе ВОХП;
 3 – пресс-композит на основе ТДОСП; 4 – пресс-композит на основе ВОХП;
 5 – литевой композит на основе ТДОСП; 6 – литевой композит на основе ВОХП;
 7 – литевой состав-эталон

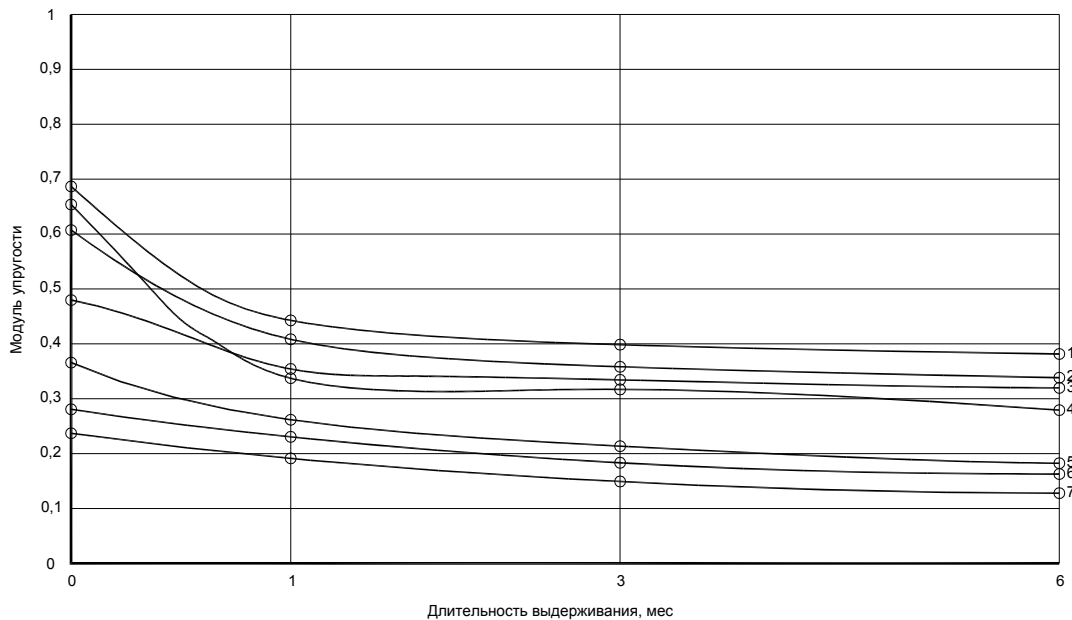


Рис. 8. Динамика изменения модуля упругости после экспозиции в растворе азотной кислоты:
 1 – вибропресс-композит на основе ТДОСП; 2 – вибропресс-композит на основе ВОХП;
 3 – пресс-композит на основе ТДОСП; 4 – пресс-композит на основе ВОХП;
 5 – литевой композит на основе ТДОСП; 6 – литевой композит на основе ВОХП;
 7 – литевой состав-эталон

Результаты исследования кинетики изменения массосодержания композитов на основе ТДОСП свидетельствуют, что изменение показателей массосодержания данных типов композитов происходит согласно режиму «ложного старта», причем показатели пресс-композита несколько выше, чем у литьевого. Это можно объяснить тем, что образующиеся в процессе полимеризации композита продукты гидратации портланд-цемента способствуют кальматированию микропор в образце материала, тем самым повышая его однородность. В то же время можно утверждать, что образование армирующих и коррозионностойких элементов в образцах материалов способствует их упрочнению.

Наиболее высокая прочность при сжатии соответствует образцам на основе ТДОСП. Также достаточными показателями обладают образцы на основе ВОХП, что свидетельствует о наличии армирующего действия асбестовых волокон. Однако в случае композита на основе ВОХП речь может идти только о физической модификации матричного материала армирующими волокнами, поэтому применение в качестве модификатора ТДОСП предпочтительнее. Данный тезис подтверждается также испытаниями на растяжение при изгибе. У составов на основе ВОХП прочность также ниже по сравнению с составами на основе ТДОСП.

В то время как прочность определяется напряжением, при котором происходит разрушения материала или конструкции, деформативная устойчивость материала характеризуется жесткостью [2, 4]. В свою очередь, жесткость определяется деформацией, развивающейся под действием данной силы или напряжения. Основным параметром, характеризующим жесткость материалов при воздействии нагрузок, является модуль упругости.

После испытания образцов пресс-композитов и литевых составов на сжатие были получены графики зависимости «напряжение – деформация», по которым были рассчитаны показатели модуля упругости для исследуемых составов.

Жесткость наполненных композитов зависит от жесткости, формы и размеров частиц наполнителя, их содержания, прочности сцепления с полимерной матрицей, вязкости разрушения матрицы и (в отдельных случаях) частиц наполнителя. В зависимости от вида наполнителя значение модуля упругости может меняться как в большую, так и в меньшую стороны. Из полученных данных видно, что составы на основе ТДОСП имеют более высокие показатели модуля упругости, чем составы на основе ВОХП. Это можно объяснить более высокой прочностью адгезионных связей связующего с поверхностью наполнителя. В то же время отмечено, что пресс-составы имеют жесткость выше, чем их литевые аналоги. Очевидно, что технология изготовления до известного предела положительно влияет на жесткость материала.

Выполненные исследования при разрушении образцов не обнаружили нарушения адгезионных связей связующего с поверхностью наполнителя у композитов на основе ТДОСП, в то время как отмечена незначительная степень отслаивания волокон ВОХП от полимеризовавшейся матрицы. Пресс-составы и литевые составы на основе ТДОСП имеют разрыв наполнителей по дефектным местам в объеме полимера. При этом неразрушенные частицы наполнителя, выходящие на поверхность разлома, всегда оказывались покрытыми полимерным чехлом. Можно утверждать, что составы на основе ТДОСП, в отличие от основанных на ВОХП, работают как единая система вплоть до разрушения без нарушения адгезионных связей между связующим и зернами наполнителя. В данном случае речь может идти не только о физической модификации материала армирующими волокнами, но и о химическом упрочнении и повышении жесткости.

Выводы

1. Изучены особенности химического сопротивления наполненных эпоксидных композитов с наполнителями на основе отходов строительного и химического производств.
2. Выявлены характерные зависимости основных показателей химического сопротивления эпоксидных композитов на основе отходов производства от длительности экспозиции в агрессивных средах.

3. Проведены исследования кинетики массосодержания композитов на основе отходов производства.
4. Произведена оценка показателей химической стойкости образцов эпоксидных композитов на основе отходов производства.
5. Выявлены особенности формирования микроструктуры образцов эпоксидных композитов на основе асбестосодержащих отходов в зависимости от вида наполнителя в ходе экспозиции в агрессивных средах.
6. Подобран оптимальный вид наполнителя для химически стойкого эпоксидного композита на основе тонкодисперсных отходов строительного производства.

Список литературы

1. Гаврилов, М.А. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы / М.А. Гаврилов, В.Н. Вернигорова // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №2. – С. 50–56.
2. Изучение влияния вида наполнителей на основе асбестосодержащих отходов и их содержания на технологические и механические свойства эпоксидных композитов / М.А. Гаврилов, Д.А. Губанов, В.Т. Ерофеев, В.А. Худяков // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С. 33–42.
3. Данилов, А.М. Разработка строительных материалов как сложных систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С. 50–54.
4. Данилов, А.М. Структура наполненного эпоксидного связующего. Оптическая и сканирующая зондовая микроскопия / А.М. Данилов, В.П. Селяев, А.Н. Круглова // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 41–52.
5. Бобрышев, А.Н. Полимерные композиционные материалы / А.Н. Бобрышев, В.Т. Ерофеев, В.Н. Козомазов. – Саранск, 2013. – 480 с.
6. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминоксидными соединениями / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: АСВ, 2008. – 244 с.

References

1. Gavrilov, M.A. Composite Materials Based on Epoxy Resin / M.A. Gavrilov, Vernigorova V.N. // Regional Architecture and Construction. – 2013. – №2. – P. 50–56.
2. Evaluation of Effective Types and Consistences of Asbestos-Based Waste Fillers Upon Epoxy Composites And Their Technological and Mechanical Properties / M.A. Gavrilov, D.A. Gubanov, V.A. Hudjakov, V.T. Erofeev // Regional Architecture and Construction. – 2016. – № 2. – P. 33–42.
3. Danilov, A.M. Researching The Construction Materials As Complex Sytems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional Architecture and Construction. – 2016. – № 2. – P. 50–54.
4. Danilov, A.M. Structure of Filled Epoxy Binder. Optical and Scanning Probe Microscopy / A.M. Danilov, V.P. Selyaev, A.N. Kruglova // Regional Architecture and Construction. – 2014. – № 1. – P. 41–52.
5. Bobryshev, A.N. Polymer Composite Materials / A.N. Bobryshev, V.T. Erofeev, V.N. Kozomazov. – Saransk, 2013. – 480 p.
6. Erofeev, V.T. Epoxy Polymerconcretes Modified by Oil Bitumen, Coal and Carbamide Resins and Aminoderivative Substances / V.T. Erofeev [etc.]. – М.: ASV, 2008. – 244 p.

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

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

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

Морозов Михаил Александрович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: morozzz89@bk.ru

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

Чернов Алексей Николаевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: lhms@rambler.ru

*Mordovian State University
named after N.P. Ogarev*
Russia, 430000, Saransk, 24,
Soviet St.,
tel.: (8342) 47-71-56

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

Morozov Michail Alexandrovich,
Postgraduate student of the department
«Building construction»
E-mail: morozzz89@bk.ru

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

Chernov Alexey Nikolaevich,
Postgraduate student of the department
«Building structures»
E-mail: lhms@rambler.ru

ЭКЗОТЕРМИЧНОСТЬ НАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ*

Т.А. Низина, М.А. Морозов, Д.Р. Низин, А.Н. Чернов

Рассмотрено влияние микрорамора различных фракций на показатели экзотермичности процесса отверждения наполненных полимерных композитов. Показано, что введение в состав полимерного связующего микрорамора в количестве 40–80 % от предельной степени наполнения позволило снизить максимальную температуру экзотермической реакции на 10–35 %, а также повысить время её достижения в 1,1–2 раза. Выявлены преимущества бинарного наполнения полимерного композита.

Ключевые слова: эпоксидный композит, экзотермичность, наполнитель, заполнитель, микрорамор, бинарное наполнение

EXOTHERMICITY OF FILLED EPOXY COMPOSITES*

T.A. Nizina, M.A. Morozov, D.R. Nizin, A.N. Chernov

We have investigated the influence of different fractions of micromarble on exothermicity parameters of filled polymer composites curing process. Polymer binder filling with micromarble in an amount of 40–80 % of the ultimate degree of filling allowed to reduce the maximum temperature of the exothermic reaction at 10–35 %, as well as increase the time of its achievement in 1,1–2 times. The authors identified the advantages of binary filling of the polymer composite.

Keywords: epoxy composite, exothermic, filler, aggregate, micromarble, binary filling

Материалы и изделия на основе эпоксидных связующих широко применяются в различных отраслях промышленности и техники. При этом реакция взаимодействия между эпоксидной смолой и отвердителем может приводить к разогреву смеси свыше 200 °С. Столь сильное повышение температуры в большинстве случаев приводит к снижению качества конечного композита, развитию высоких внутренних напряжений,

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-33-01008.

а также образованию дефектов в структуре полимерной матрицы. Как следствие, снижение экзотермичности процесса отверждения эпоксидных композитов позволит повысить качество готовых изделий и конструкций.

В научно-технической литературе экзотермичность определяют как увеличение температуры смеси за счёт энергии, выделяющейся при взаимодействии реакционно-способных групп. Данный показатель наряду с вязкостью, реакционной способностью, усадкой и др. характеристиками играет важную роль в процессе изготовления эпоксидных композитов высокого качества.

Отверждение эпоксидных смол в зависимости от типа используемого отвердителя может осуществляться как при дополнительном нагревании, так и без него. На этом основании выделяют отвердители «горячего» и «холодного» типов. Тем не менее, даже если процесс отверждения не требует дополнительного нагрева, температура компаунда может существенно отличаться от окружающих условий. Данный эффект проявляется при использовании отвердителей аминного типа и обуславливается тем фактом, что взаимодействие амина с одним эквивалентом эпоксидной группы сопровождается выделением в среднем 103 кДж тепла экзотермии. Тепловая энергия взаимодействия приводит к существенному увеличению температуры компаунда – в ряде случаев она может превышать 200 °С. Столь высокая температура, в свою очередь, может привести к образованию трещин и раковин вследствие развития высокого уровня внутренних напряжений и газовыделения. Образовавшиеся дефекты впоследствии приводят к дальнейшему развитию механических повреждений. Таким образом, снижение экзотермичности процесса отверждения эпоксидных смол аминными отвердителями представляет собой актуальную задачу повышения качества полимерных изделий и конструкций.

Характер протекания процесса отверждения эпоксидных композитов зависит от ряда факторов: количества, начальной температуры, реакционной способности и теплопроводности смешиваемых компонентов [1, 2]. Одним из возможных способов снижения экзотермичности реакции является введение в состав полимерного связующего различных наполнителей. В зависимости от предъявляемых к композиционному материалу требований в качестве наполнителей применяются искусственные и натуральные волокна, тальк, слюда, каолин, мел, древесная мука, стеклянные микросферы, углеродные нанотрубки и т.д. [1–12]. Перспективным материалом для наполнения эпоксидных смол является микрорамор (микрокальцит). В настоящее время данный наполнитель массово используется при производстве сухих строительных смесей, пластмасс, бумаги, резины, стекла, линолеума и т.д. Это обусловлено широким перечнем его положительных характеристик – низким содержанием примесей, повышенной прочностью и твердостью зерен, низкой химической активностью, значительной стойкостью к действию ультрафиолетового излучения, атмосферных воздействий, кислых сред, высокой белизной и т.д.

В ходе эксперимента в состав эпоксидного двухкомпонентного компаунда марки Этал-27НТ/12НТ производства АО «ЭНПЦ Эпитал» вводился микрорамор трех различных фракций:

- 1) МКМ1 – 0,5±1 мм;
- 2) МКМ2 – 0,2±0,5 мм;
- 3) МКМ3 – менее 0,2 мм.

Степень наполнения состава варьировалась от 40 до 80 % от уровня предельного наполнения. При этом данный показатель менялся в зависимости от фракции используемого наполнителя (табл. 1). В табл. 2 представлен план экспериментального исследования. Наряду с составами, наполненными одним видом микрорамора, также исследовались композиты бинарного наполнения, при обеспечении условия $V_1 + V_2 + V_3 = 1$.

Т а б л и ц а 1

Уровни варьирования переменных факторов

На 100 мас. ч. эпоксидного связующего					
Массовое содержание наполнителей, % от максимального наполнения			Максимальное содержание наполнителей в смеси, масс.ч.		
-1	0	+1	МКМ1 (V_1)	МКМ2 (V_2)	МКМ3 (V_3)
40 %	60 %	80 %	300	250	200

Т а б л и ц а 2

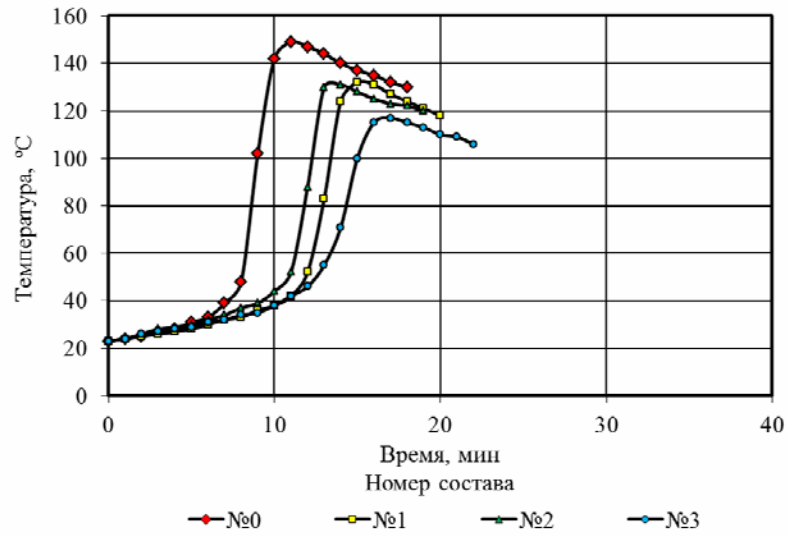
План эксперимента в кодированных величинах

№ опыта	Значения исследуемых факторов			
	Доля в смеси наполнителей			Степень наполнения (X)
	МКМ1 (V_1)	МКМ2 (V_2)	МКМ3 (V_3)	
1	1	0	0	-1
2	0	1	0	-1
3	0	0	1	-1
4	0,5	0,5	0	-1
5	0,5	0	0,5	-1
6	0	0,5	0,5	-1
7	1	0	0	0
8	0	1	0	0
9	0	0	1	0
10	0,5	0,5	0	0
11	0,5	0	0,5	0
12	0	0,5	0,5	0
13	1	0	0	+1
14	0	1	0	+1
15	0	0	1	+1
16	0,5	0,5	0	+1
17	0,5	0	0,5	+1
18	0	0,5	0,5	+1

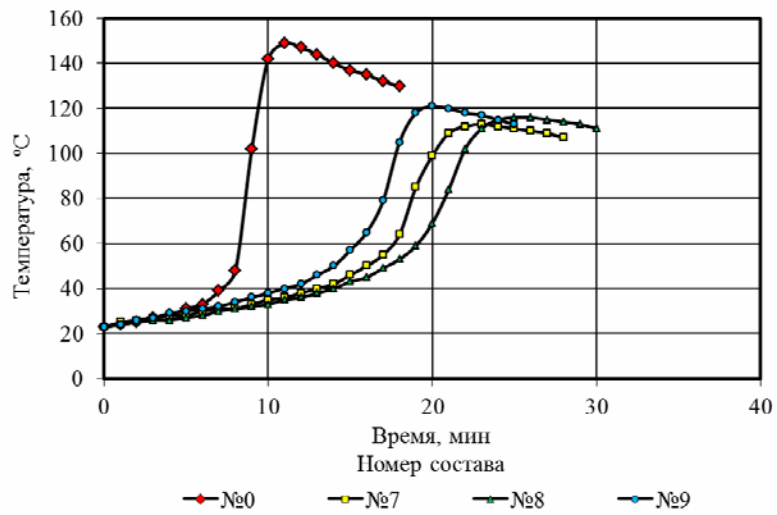
В ходе экспериментальной части исследования были получены кинетические кривые температуры композитов для всех рассматриваемых составов. На рис. 1 представлены кинетические кривые температуры для составов, содержащих микрорамор различных фракций при одинаковой степени наполнения. Кинетическая кривая №0 описывает процесс набора температуры ненаполненным эпоксидным компаундом.

Данные, представленные на рис. 1, показывают, что вне зависимости от фракции используемого микрорамора с повышением степени наполнения происходит всё большее отдаление процесса отверждения от теоретической адиабатической кривой, описанной Ли и Невиллом и предполагающей полное отсутствие теплообмена между полимерной системой и окружающей средой. На наш взгляд, это связано с тем, что с повышением степени наполнения, с одной стороны, происходит повышение теплопроводности композита за счёт присутствия всё большего числа частиц микрорамора. С другой стороны, снижение экзотермии процесса отверждения, несомненно, связано с уменьшением содержания связующего в единице объема полимерного композита, прежде всего, за счёт меньшего потенциально возможного числа реакций взаимодействия.

а



б



в

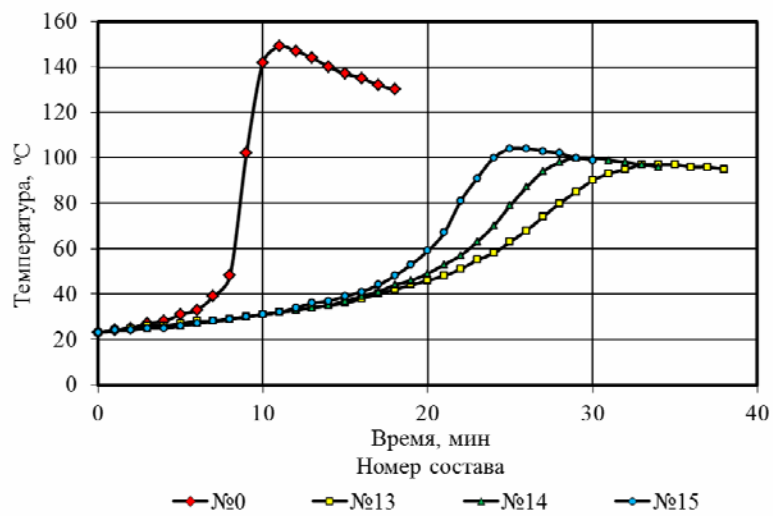


Рис.1. Кинетика набора температуры эпоксидными композитами различной степени наполнения:
а – 40 %; б – 60 %; в – 80 %

Полученные кинетические кривые не позволяют сформировать однозначного представления о преимуществах микрорамора того или иного фракционного состава на экзотермические характеристики эпоксидных композитов. При введении наполнителя в количестве 40 % от предельного значения наилучший эффект достигается при использовании фракции МКМ3. Максимальное значение температуры при этом снижается более чем на 30 °С, а время его достижения, напротив, увеличивается более чем в 1,5 раза. Аналогичные значения для составов, наполненных МКМ1 и МКМ2, ниже почти в 2 раза. Причиной зафиксированного расхождения свойств, вероятней всего, является характер распределения частиц наполнителя по объему композита. Так, если для составов №1 и 2 имеет место ярко выраженное расслоение компонентов смеси (рис. 2, а–б), то в составе №3 (рис. 2, в) частицы микрорамора благодаря своему размеру, остались во взвешенном состоянии и дисперсно распределились по всему объему образца.

Повышение степени наполнения композита до 60 % для образцов, содержащих МКМ1 и МКМ2, привело к снижению максимальной температуры реакции еще на 15–20 °С, а также дальнейшему отдалению момента достижения температурного пика более чем в 2 раза по сравнению с ненаполненным составом. В свою очередь, состав, наполненный МКМ3, практически не претерпел каких-либо изменений относительно пикового значения температуры по сравнению с составом №3.

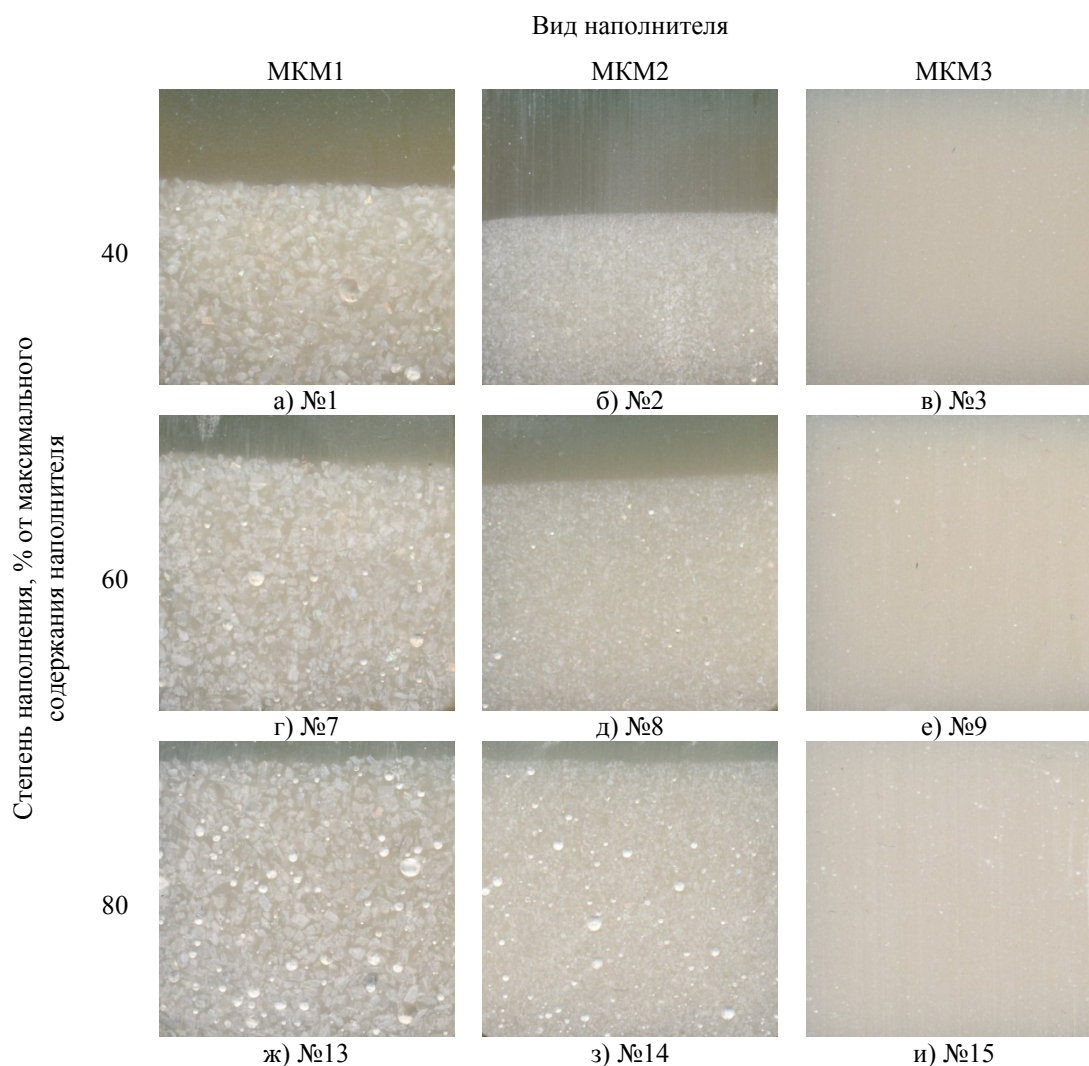


Рис. 2. Распределение наполнителя по сечению полимерного композита (один вид наполнителя)

Дальнейшее наполнение композиционного материала приводит к закономерному снижению предельной температуры и повышению времени её достижения для всех без исключения составов. При этом максимальная температура вышла примерно на один уровень, вне зависимости от фракции используемого микрорамора. В конечном счёте, снижение температуры композита составило порядка 45–50 °С по сравнению с ненаполненным составом.

Очевидно, что с повышением степени наполнения полимерного композита происходит закономерное снижение подвижности смеси. В результате снижается возможность относительного перемещения частиц наполнителя друг относительно друга. Как следствие, увеличение степени наполнения также приводит к повышению пористости конечного полимерного композита, причем данная тенденция не зависит от фракционного состава используемого наполнителя (рис. 2). Тем не менее, имеет место зависимость величины образующихся в толще композита структурных дефектов от линейных размеров частиц используемого микрорамора.

При подборе заполнителя для изготовления бетонных изделий и конструкций зачастую применяется концепция непрерывного гранулометрического состава, согласно которой зерновой состав содержит частицы практически любых размеров. Тем не менее, наибольшей плотности упаковки структуры удается достичь при использовании заполнителей с прерывистым гранулометрическим составом. Этот эффект достигается за счёт заполнения меньшим заполнителем пустот между зёрнами более крупной фракции, без их раздвижки. Ранее было установлено, что введение в состав эпоксидной матрицы бинарного наполнителя, содержащего микрокальцит двух различных фракций в количестве 80 % от предельного значения, позволяет получить наилучшее соотношение прочности при сжатии и изгибе по сравнению с составами, наполненными одной фракцией.

Изображения, полученные в ходе сканирования поперечных срезов составов с бинарным наполнением, представлены на рис. 3. С одной стороны, использование наполнителей двух различных фракций приводит к видимому невооруженным взглядом снижению пористости получаемых полимерных композитов. С другой стороны, совместное использование микрорамора фракций МКМ1 и МКМ2 в сочетании с МКМ3 позволяет получить композиционный материал, для которого наличие четкой границы раздела фаз не является характерным. По аналогии с функционально-градиентными материалами [9], получаемыми путём пропитки основания проникающими растворами, в данном случае имеет место явление так называемого размытого фронта, когда изменение свойств материала по высоте поперечного сечения не претерпевает резких скачков, обусловленных присутствием граничных слоёв перехода от одной фазы к другой. Наиболее наглядно данный эффект может быть рассмотрен на примере составов №6, 12 и 18. Как правило, именно граничный слой при нагружении композита играет роль концентратора напряжений и приводит к нарушению целостности полимерной матрицы и последующему ускорению процессов механической деструкции.

В табл. 3 представлены относительные значения изменения максимальной температуры экзотермической реакции и времени её достижения для составов с одним и двумя видами наполнителя по сравнению с ненаполненным составом. Согласно полученным данным, экзотермичность составов, наполненных одной или двумя фракциями микрорамора при одинаковой степени наполнения, практически не отличается. При этом значение максимальной температуры смеси, полученное для составов с бинарным наполнением, как правило, находится в диапазоне, обозначенном значениями, полученными при раздельном введении наполнителей. Исключение составляют составы, наполненные сочетанием фракций МКМ2 и МКМ3. По аналогии с максимальной температурой, показатель времени её достижения также практически не меняется в зависимости от типа используемого заполнителя.

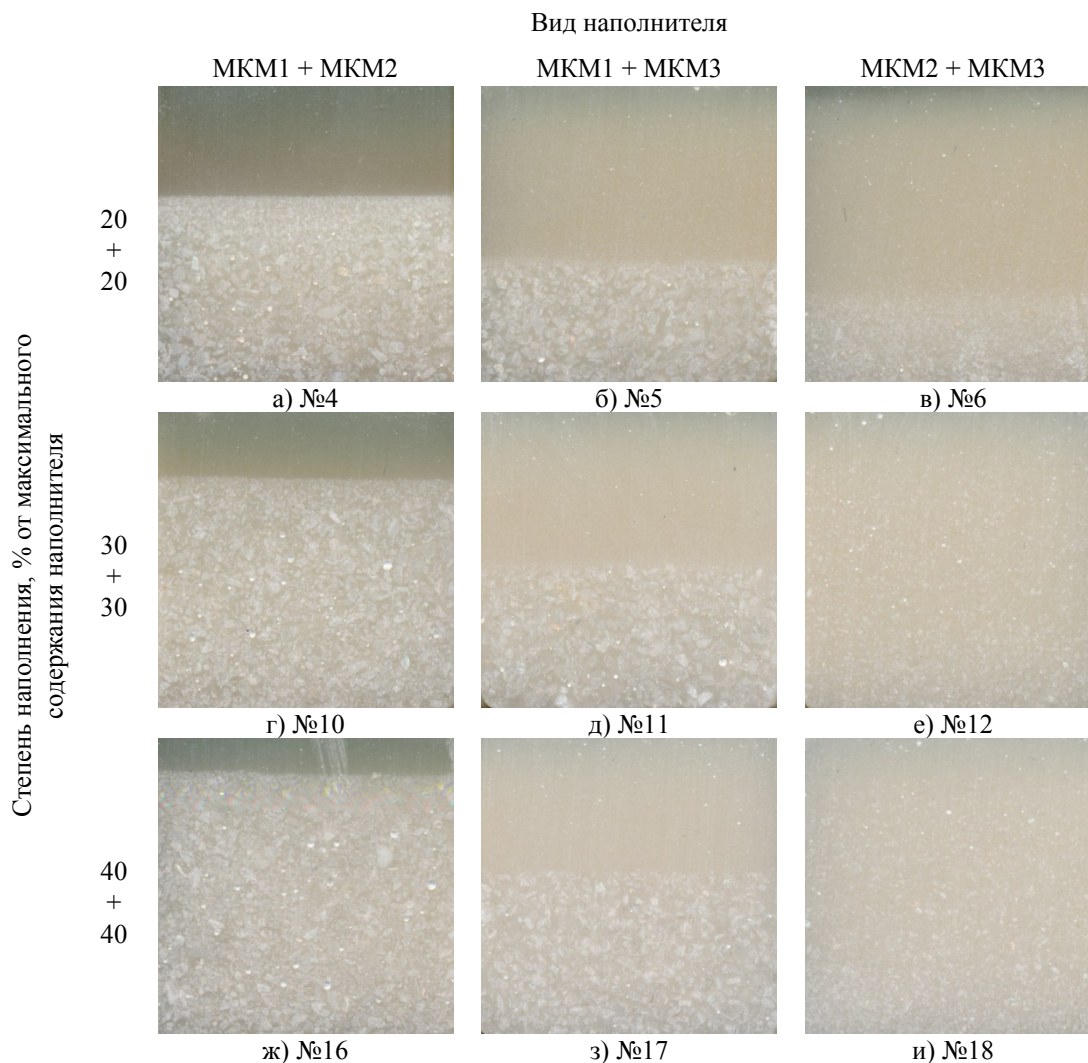


Рис. 3. Распределение наполнителя по сечению полимерного композита (два вида наполнителя)

Т а б л и ц а 3

Относительные показатели экзотермичности эпоксидных композитов (по сравнению с ненаполненным составом)

Тип используемого наполнителя	Степень наполнения эпоксидного композита, %		
	40 / (20+20)	60 / (30+30)	80 / (40+40)
МКМ1	<u>0,886</u>	<u>0,758</u>	<u>0,651</u>
	1,105	1,526	2,050
МКМ2	<u>0,879</u>	<u>0,778</u>	<u>0,671</u>
	1,052	1,632	1,842
МКМ3	<u>0,785</u>	<u>0,812</u>	<u>0,698</u>
	1,211	1,368	1,631
МКМ1 + МКМ2	<u>0,846</u>	<u>0,745</u>	<u>0,658</u>
	1,263	1,579	2,001
МКМ1 + МКМ3	<u>0,866</u>	<u>0,798</u>	<u>0,678</u>
	1,053	1,526	1,737
МКМ2 + МКМ3	<u>0,953</u>	<u>0,846</u>	<u>0,745</u>
	1,211	1,421	1,789

П р и м е ч а н и е : в числителе приведено относительное значение максимальной температуры экзотермической реакции; в знаменателе – относительное значение времени её достижения.

Таким образом, поскольку повышенная экзотермичность реакции представляет собой нежелательный показатель полимерного состава, в качестве наилучших можно рассматривать составы №13–18. При этом, согласно табл. 3, наибольшее снижение максимальной температуры экзотермической реакции зафиксировано для составов, наполненных 80 % микрорамора фракции МКМ1 (№13) и сочетания МКМ1 + МКМ2 (№16). Тем не менее, пористость состава №16 существенно ниже аналогичного показателя состава №13, что обусловлено повышенной плотностью упаковки зёрен наполнителя. Как следствие, поскольку данная тенденция характерна также и для других сочетаний составов с одной и двумя фракциями микрорамора, можно утверждать о целесообразности использования бинарного наполнения при производстве наполненных полимерных композитов.

С учётом влияния пористости и ярко выраженной границы раздела фаз на качество полимерного композиционного материала, оптимальное сочетание свойств соответствует составам, наполненным 80 % микрорамора МКМ3, МКМ1 + МКМ3 и МКМ2 + МКМ3. Анализируя полученные результаты совместно с физико-механическими показателями рассматриваемых составов, наилучшими по всему комплексу свойств являются составы №17 и 18. Таким образом, совместное использование наполнителей различных фракций при производстве полимерных композитов позволяет получить материал с комплексом повышенных технологических и эксплуатационных свойств.

Список литературы

1. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии / под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2009. – 560 с.
2. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технологии / С.Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульков, В.Г. Ошмян. – М.: Изд-во «Интеллект», 2009. – 352 с.
3. Функциональные наполнители для пластмасс. / под ред. М. Ксантоса; пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 462 с.
4. Хозин, В.Г. Усиление эпоксидных полимеров / В.Г. Хозин. – Казань: Дом печати, 2004. – 446 с.
5. Селяев, В.П. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций: учеб.пособие / В.П. Селяев, Т.А. Низина, В.Н. Уткина. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 48 с.
6. Низина, Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т.А. Низина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 260 с.
7. Низина, Т.А. Экспериментально-теоретические основы прогнозирования и повышения долговечности защитно-декоративных покрытий: дис. ... д-ра техн. наук / Т.А. Низина. – Пенза, 2007. – 408 с.
8. Селяев, В.П. Полимербетоны: монография / В.П. Селяев, Ю.Г. Иващенко, Т.А. Низина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – 284 с.
9. Функционально-градиентные покрытия на основе полимерных связующих / В.П.Селяев [и др.]// Известия ВУЗов. Строительство. – 2007.– № 7. – С. 36–40.
10. Хозин, В.Г. Влияние наполнителей на свойства эпоксидных материалов / В.Г. Хозин // Клеи. Герметики. Технологии. – 2006. – № 11. – С. 12–22.
11. Низина Т.А. Оптимизация свойств эпоксидных композитов, модифицированных наночастицами / Т.А. Низина, П.А. Кисляков // Строительные материалы. – 2009. – №9. – С. 78–80.
12. Структура и свойства дисперсно-наполненных композитных материалов / А.Н. Бобрышев, А.В. Лахно, Р.В. Козомазов, А.А. Бобрышев. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 160 с.

References

1. Polymer composite materials. Properties. Structure. Technology / ed. A.A. Berlin. – Spb.: 2009. – 560 p.
2. Polymer composite materials. Strength and technologies /S.L. Bazhenov, A.A. Berlin, A.A. Kul'kov, V.G. Oshmyan. – M.: Publishing house Intelligence, 2009. – 352 p.
3. Functional fillers for plastics / ed. Marino Xanthos, trans. from English; ed. V.N. Kuleznev. – M.: Publishing House Scientific basis and technologies. 2010. – 462 p.
4. Khozin, V.G. Strengthening of epoxy polymers / V.G. Khozin. – Kazan: Publishing House PIK «Printing House», 2004. – 446 p.
5. Selyaev, V.P. Chemical resistance and durability of building materials, products, constructions: tutorial / V.P. Selyaev, T.A. Nizina, V.N. Utkina. – Saransk: Mordovia State University Publishing house, 2003. – 48 p.
6. Nizina, T.A. Protective and decorative coatings based on epoxy and acrylic resins / T.A. Nizina. – Saransk: Mordovian University Press, 2007. – 258 p.
7. Nizina, T.A. Experimental and theoretical bases of forecasting and increasing the durability of protective and decorative coatings: Dis. ... Doct. tehn. Sciences / T.A. Nizina. – Penza, 2007. – 408 p.
8. Selyaev, V.P. Polymer concrete / V.P. Selyaev, Y.G. Ivashchenko, T.A. Nizina. – Saransk: Publishing House of Mordovia State University, 2016. – 284 p.
9. Functionally graded coatings based on polymeric binders / V.P. Selyaev [etc.] // Proceedings of the universities. Construction. – 2007. – № 7. – P. 36–40.
10. Khozin, V.G. Filler influence on the properties of epoxy materials / V.G. Khozin // Adhesives. Sealants. Technologies. – 2006. – № 11. – P. 12–22.
11. Nizina, T.A. Optimization of properties of modified by nanoparticles epoxy composites / T.A. Nizina, P.A. Kislyakov // Building Materials. – 2009. – № 9. – P. 78–80.
12. Structure and properties of dispersion-filled composite materials /A.N. Bobrishev, A.V. Lakhno, R.V.Kozomazov, A.A. Bobrishev. – Penza: PGUAS, 2012. – 160 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 692.421.4

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

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

Белюсева Инна Александровна,
магистрант
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Belyuseva Inna Aleksandrovna,
the student of magistrate
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
Department «Building structures»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

ИЗ ОПЫТА УСИЛЕНИЯ СПЛОШНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

И.С. Гучкин, И.А. Белюсева, Н.Н.Ласьков

Рассматриваются результаты внедрения новой эффективной конструкции усиления сплошной железобетонной плиты, расположенной в перекрытии 1-го этажа производственного цеха (причина усиления – существенное увеличение расчетной нагрузки на перекрытие). Приводятся данные обследования плиты, расчеты ее несущей способности до и после усиления. Предлагается способ усиления плиты, не требующий ее предварительной разгрузки и остановки производственного цикла.

Ключевые слова: плита перекрытия, перегрузка, комплексное усиление, элементы усиления

EXPERIENCE OF STRENGTHENING A SOLID CONCRETE SLAB OF AN INDUSTRIAL BUILDING

I.S. Guchkin, I.A. Belyuseva, N.N. Laskov

The results of the use of new efficient design of strengthening a solid concrete slab, located in the ceiling of the 1st floor of the production plant are discussed. The reason of strengthening is a substantial increase in the estimated loading on the floor. The data of slab plate survey estimates its bearing capacity before and after strengthening. A method of strengthening the slab does not require its preliminary discharge and stop of the production cycle.

Keywords: floor slab, overload, complex strengthening, elements of the strengthening

Усиление плиты перекрытия производилось в связи с реконструкцией производственного цеха и существенным увеличением полезной нагрузки.

По заданию администрации цеха усиление необходимо было выполнить в кратчайшие сроки без остановки действующего производства и демонтажа расположенного на перекрытии технологического оборудования. Задача оказалась достаточно сложной и не только из-за невозможности предварительной разгрузки перекрытия, но и предельно стесненных условий ремонтно-восстановительных работ.

При детальном обследовании перекрытия установлено, что плита, работающая по балочной схеме с расчетной длиной $l_0 = 4$ м, монолитная сплошного сечения толщиной 140 мм, выполнена из тяжелого бетона на гранитном щебне. Плита армирована сетками в двух уровнях из стержневой арматуры класса АП с защитным слоем 15...20 мм. Рабочая арматура нижней сетки диаметром 14 мм. Шаг стержней 200 мм. Прочность бетона по результатам неразрушающего контроля прибором марки ОНИКС-2.3 составляет 21...23 МПа, что примерно соответствует классу В15 (марка 200).

Расчетные нагрузки на 1 м^2 плиты:

- от веса плиты ($h = 0,14$ м) $q_1 = \rho \cdot \gamma_f \cdot h = 25 \cdot 1,1 \cdot 0,14 = 3,85$ кН/м²;
- от веса пола, включая керамическую плитку и цементно-песчаную стяжку $q_2 = 18 \cdot 1,2 \cdot 0,013 + 22 \cdot 1,3 \cdot 0,02 = 0,85$ кН/м²;
- временная (полезная) после усиления $q_3 = 17 \cdot 1,2 = 20,4$ кН/м²;
- временная (полезная) до усиления $q_4 = 5 \cdot 1,2 = 6$ кН/м²;
- полная расчетная после усиления $q = q_1 + q_2 + q_3 = 3,85 + 0,85 + 20,4 = 25,1$ кН/м².

Погонная нагрузка после усиления $q_n = q \cdot b = 25,1 \cdot 1 = 25,1$ кН/м.

Изгибающий момент $M = 0,125 q_n l_0^2 = 0,125 \cdot 25,1 \cdot 4^2 = 50,2$ кН·м.

Основные параметры плиты:

- бетон класса В15 (марка 200). $R_b = 8,5 \cdot 0,9 = 7,65$ МПа;
- рабочая арматура сетки класса АП 5Ø14, $A_s = 7,69$ см², $R_s = 280$ МПа;
- сечение плиты $b \times h = 1,0 \times 0,14$ м; рабочая высота сечения $h_0 = 0,12$ м;
- относительная высота сжатой зоны

$$\xi = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b \cdot h_0} = \frac{280 \cdot 7,69}{7,65 \cdot 100 \cdot 12} = 0,235; \quad \alpha_m = 0,207.$$

Находим момент, воспринимаемый сечением:

$$M_r = \alpha_m \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2 = 0,207 \cdot 7,65 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 0,12^2 = 22,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Проверяем условие $M_r < M$: $22,8 \text{ кН} \cdot \text{м} < 50,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$ – требуется усиление.

Расчетная нагрузка, воспринимаемая плитой до усиления:

$$q_p = 8M_r / l_0^2 = 8 \cdot 22,8 / 4^2 = 12 \text{ кН/м}.$$

Требуемый коэффициент усиления

$$k = q_n / q_p = 25,1 / 12 = 2,1.$$

Усиливаем плиту дополнительной арматурой класса АП.

Предварительно задаемся рабочей высотой усиленного сечения: принимаем $h_{01} = h = 0,14$ м.

$$\text{Тогда } \alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_{01}^2} = \frac{50,2}{7,65 \cdot 10^3 \cdot 0,14^2} = 0,333 < \alpha_R; \quad \nu = 0,79.$$

Требуемая суммарная площадь сечения арматуры

$$A_{s1} = \frac{M}{R_s \cdot \nu \cdot h_{01}} = \frac{50,2 \cdot 10^4}{280 \cdot 10^3 \cdot 0,79 \cdot 0,14} = 16,21 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения арматуры усиления (затяжки)

$$A_{sy} = A_{s1} - A_s = 16,21 - 7,69 = 8,52 \text{ см}^2 - \text{принимаем } 5\text{Ø}16 \text{ АП, } A_{sy1} = 10,05 \text{ см}^2.$$

Уточняем рабочую высоту усиленного сечения:

$$h_{0,red} = \frac{A_{sh_0} + A_{sy1} \cdot h_{02}}{A_s + A_{sy1}} = \frac{7,69 \cdot 12 + 10,05 \cdot 16}{7,69 + 10,05} = 14,27 \text{ см}.$$

Уточняем несущую способность усиленного сечения:

$$\xi = \frac{R_s \cdot (A_s + A_{sy1})}{R_b \cdot b \cdot h_{0,red}} = \frac{280 \cdot (7,69 + 10,05)}{7,65 \cdot 100 \cdot 14,27} = 0,455 < \xi_R = 0,68; \alpha_m = 0,351.$$

$$M_{ry} = 0,351 \cdot 7,65 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 0,1427^2 = 54,68 \text{ кН} \cdot \text{м} - \text{прочность достаточная.}$$

Плита усиливается предварительно напряженной затяжкой, состоящей из стержней с винтовой нарезкой на концах, шайб и гаек. Для крепления затяжки разработаны специальные анкеры, имеющие отверстия для пропуска стержней. Сами же анкера крепятся в плите компаундом на основе эпоксидной смолы.

Следует отметить, что эффективность усиления затяжкой зависит от величины ее предварительного напряжения и степени разгрузки конструкции перед усилением [1–3]. Так как эксплуатируемая плита не подлежит разгрузке, разработан способ ее предварительного поддомкрачивания усилием P с помощью раздвижной стойки, установленной в центре пролета, и двух синхронно работающих гидравлических домкратов. Схема работы плиты в процессе ее поддомкрачивания показана на рис. 1.

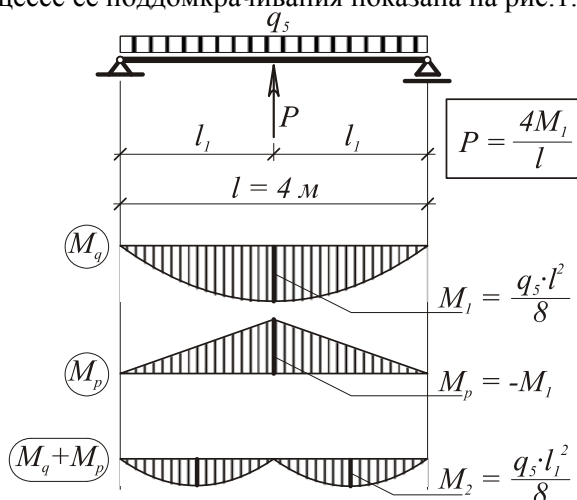


Рис. 1. Расчетная схема плиты при поддомкрачивании усилием P

Нагрузка на плиту перед усилением $q_5 = q_1 + q_2 + q_4 = 3,85 + 0,85 + 6 = 10,7 \text{ кН/м}$.

$$\text{Изгибающий момент в пролете } M_1 = \frac{q_5 \cdot l_0^2}{8} = \frac{10,7 \cdot 4^2}{8} = 21,4 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$\text{Требуемое усилие поддомкрачивания } P = \frac{4M_1}{l} = \frac{4 \cdot 21,4}{4} = 21,4 \text{ кН}.$$

Пролетные моменты после поддомкрачивания

$$M_2 = \frac{q_5 \cdot l_1^2}{8} = \frac{10,7 \cdot 2^2}{8} = 5,35 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Напряжения в рабочей арматуре плиты

$$\sigma_s = \frac{M_2}{A_s \cdot h_0 \cdot 0,9} = \frac{5,35 \cdot 10^{-3}}{7,69 \cdot 10^{-4} \cdot 0,12 \cdot 0,9} = 65 \text{ МПа}.$$

С целью обеспечения совместной работы затяжки с арматурой плиты ее стержни натягивались гайками с предварительным нагревом до температуры 100...120 °С. Напряжения в стержнях затяжки $\sigma_{SV} = \sigma_S = 60...80$ МПа .

Для поддомкрачивания плиты разработана система, состоящая из двух домкратов, раздвижной стойки и распределительной траверсы. Конструкция усиления плиты добавочной арматурой (затяжками) показана на рис. 2, а конструкция раздвижной стойки – на рис. 3.

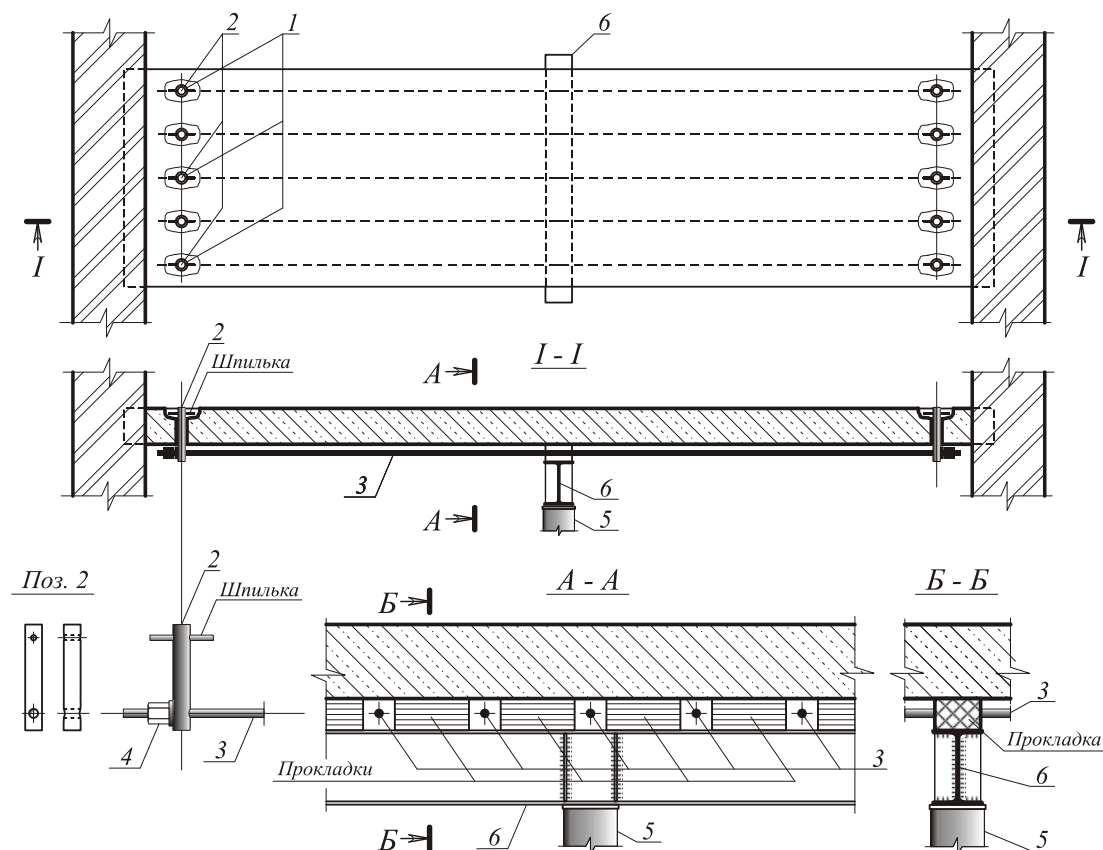


Рис.2. Конструкция усиления плиты добавочной арматурой (затяжкой):

1 – отверстия в плите; 2 – анкеры; 3 – стержни усиления; 4 – гайка; 5 – раздвижная стойка; 6 – траверса

Ниже приводится последовательность выполнения работ по усилению плиты:

- Изготавливались элементы 2...6 конструкции усиления.
- С помощью пескоструйного аппарата и металлических щеток очищалась потолочная поверхность плиты от пыли и копоти.
- Прибором ИЗС определялось и фиксировалось положение рабочих стержней в плите с целью исключения их возможного повреждения.
- Выполнялась разметка плиты и сверлились отверстия 1 под анкеры 2.
- Устанавливались в проектное положение анкеры 2 в сборке со стержнями усиления 3, которые затем закреплялись в плите компаундом на основе эпоксидной смолы.
- По окончании полимеризации смолы стержни 3 натягивались гайками 4.
- На заранее подготовленное основание устанавливались в проектное положение траверса 6, раздвижная стойка 5 и гидравлические домкраты. Выполнялось поддомкрачивание плиты усилием P .
- После предварительного нагрева до температуры 100...120°С осуществлялась подтяжка стержней 3 гайками 4.

- Демонтировалась раздвижная стойка, домкраты и траверса.
- Стержни усиления (затяжка) покрывались слоем торкретбетона для обеспечения необходимой толщины защитного слоя и сцепления торкретбетона с бетоном усиливаемой плиты.

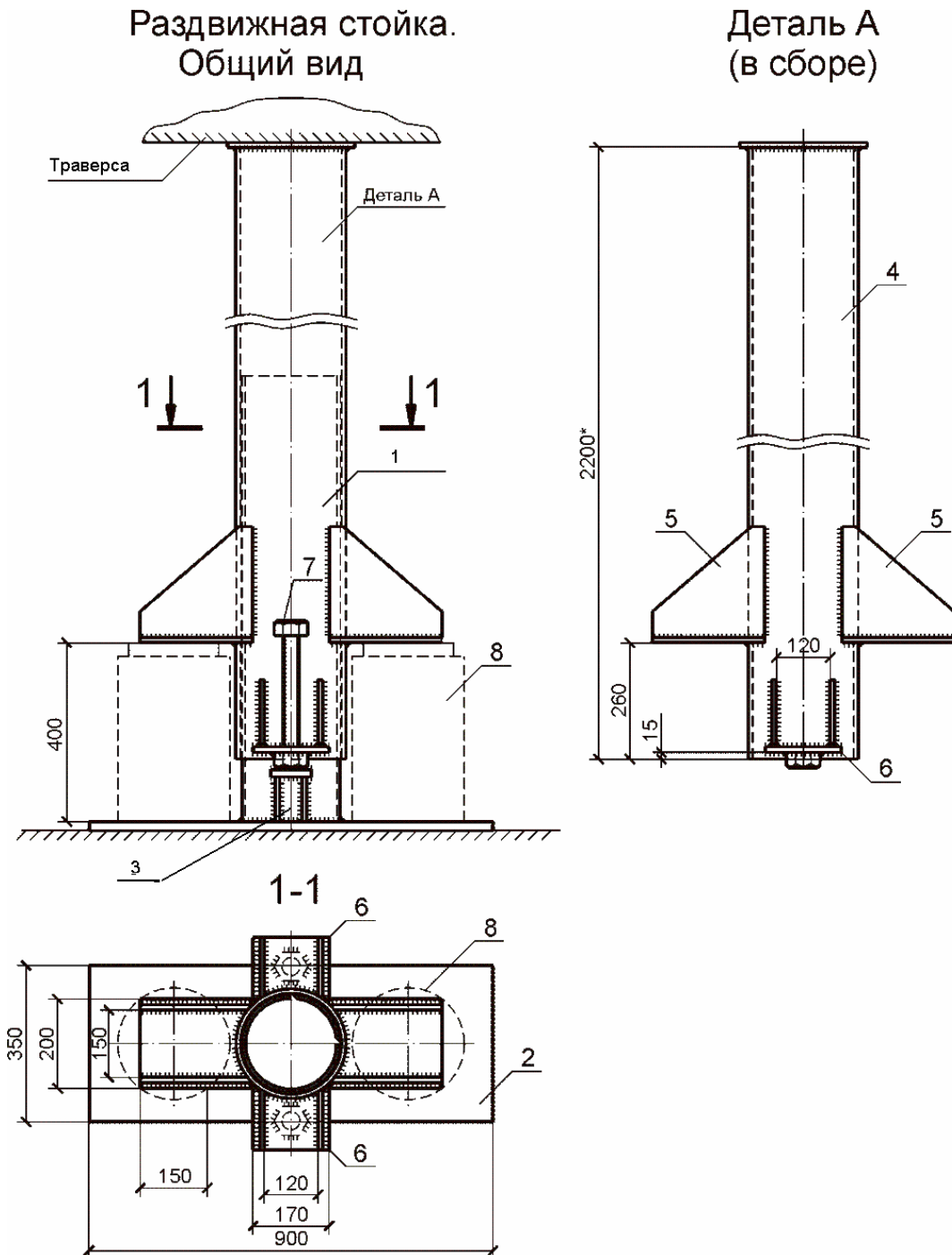


Рис. 3. Конструкция раздвижной стойки:

- 1 – неподвижная труба; 2 – опорная плита; 3 – упорный столик (нижний); 4 – подвижная труба;
 5 – консольные выступы; 6 – упорный столик (верхний) с гайкой; 7 – упорный болт;
 8 – домкрат

Выводы

Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований показали, что усиление железобетонной плиты комплексной конструкцией, состоящей из предварительно напряженной затяжки и временной промежуточной подпружной опоры, технологично, малозатратно и нетрудоемко. Усиление может выполняться в стесненных условиях и не требует остановки производственного цикла на действующем предприятии.

Список литературы

1. Устройство для усиления сплошных железобетонных плит: патент RU 2528753 / Т.И. Баранова, И.С. Гучкин, В.О. Булавенко.
2. Гучкин, И.С. Усиление сплошных железобетонных плит при недопустимой коррозии рабочей арматуры / И.С. Гучкин, В.В. Черячукин, Д.Н. Сафронов // Вестник ВолгГАСУ. Сер. «Строительство». – 2010. – Вып. 17 (36).
3. Гучкин, И.С. Проектирование усиления однопролетных железобетонных балок подведением промежуточной жесткой опоры / И.С. Гучкин, С.Г. Багдоев, Д.В. Артюшин // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – №1(6).

References

1. A device for continuous strengthening of reinforced concrete slabs: patent RU 2528753 / T.I. Baranova, I.S. Guchkin, V.O. Bulavenko.
2. Guchkin, I.S. Gain solid concrete slabs with unacceptable working reinforcement corrosion / I.S. Guchkin, V.V. Cheryachukin, D.N. Safronov // Bulletin VolgGASU. Ser. «Construction». – 2010. – Vol. 17 (36).
3. Guchkin, I.S. Designing gain single-span reinforced concrete beams summing intermediate rigid support / I.S. Guchkin, S.G. Bagdоеv, D.V. Artiushin // Regional architecture and engineering. – 2009. – № 1 (6).

УДК 624.074.2.011

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

Миряев Борис Васильевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Кузнецов Алексей Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Геотехника и дорожное
строительство»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Толушов Сергей Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Miryayev Boris Vasilyevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Kuznetsov Alexey Anatolyevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Geotechnical and road
construction»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Tolushov Sergey Aleksandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

МЕТОД РАСЧЕТА НА МЕСТНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СЕТЧАТЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КУПОЛОВ

Б.В. Миряев, А.А. Кузнецов, С.А. Толушов

Предлагается метод расчета сетчатых деревянных куполов на местную устойчивость. Приводятся результаты физического эксперимента по определению критической нагрузки при местной потере устойчивости данных куполов. Проводится сравнение физического и численного экспериментов.

Ключевые слова: сетчатый деревянный купол, метод расчета, устойчивость

METHOD OF CALCULATION FOR LOCAL STABILITY OF SCREEN WOODEN DOME

B.V. Miryayev, A.A. Kuznetsov, S.A. Tolushov

Method of calculation screen wooden dome on local stability is offered. The results of physical experiments determining critical loading at local loss of stability are given. A comparison of physical and numerical experiments is given.

Keywords: net wooden dome, calculation method, stability

Местная потеря устойчивости сетчатых куполов заключается в прощелкивании центрального узла к центру сферы. В [1] проблема устойчивости рассматривалась применительно к куполам с узловой нагрузкой и шарнирным сопряжением стержней. Деревянные купола, в отличие от металлических, во многих случаях имеют упругое защемление стержней и внеузловую передачу нагрузки. В [2] описан численный эксперимент по определению критической нагрузки для деревянных куполов с учетом их конструктивных особенностей. Целью настоящей работы является экспериментальная проверка теоретических результатов, изложенных в [2], и разработка метода расчета сетчатых деревянных куполов на местную устойчивость.

Для проведения физического эксперимента было изготовлено 9 фрагментов стержневого купола в виде пологих шестиугольных пирамид. Фрагменты стержневого купола собирались из шести ребер (рис. 1), которые соединялись между собой с

помощью узловых деталей (длина горизонтальной проекции ребер – 636 мм, ширина всех ребер – 20 мм). Геометрические параметры испытываемых пирамид приведены в табл. 1.



Рис. 1. Общий вид фрагмента стержневого купола на испытательном стенде

Т а б л и ц а 1

Геометрические параметры испытываемых пирамид

Угол наклона ребер α^0 (отношение радиуса сферы к длине ребра)	Высота сечения ребер, мм		
	43	51	62
2,87 ⁰ (10)	C43-2,87	C51-2,87	C62-2,87
3,58 ⁰ (8)	C43-3,58	C51-3,58	C62-3,58
4,79 ⁰ (6)	C43-4,79	C51-4,79	C62-4,79

Фрагменты купола устанавливались и испытывались на специальном стенде (рис.2). Концевые участки деревянных ребер прикреплялись к стальным опорным узлам, которые можно было перемещать в радиальном направлении с помощью винтовых ползунов. Такая конструкция опорных узлов позволила в максимальной степени включить в работу одновременно все деревянные ребра и тем самым снизить влияние начальных несовершенств. Нагрузка от винтового домкрата передавалась на две точки каждого ребра через систему траверс, величина нагрузки определялась с помощью динамометра.

Нагружение фрагментов осуществлялось ступенями через равные промежутки времени (5 минут). В соответствии с «Рекомендациями по испытанию деревянных конструкций» величина одной ступени нагружения в начале испытания назначалась равной 0,1–0,2 от величины ожидаемой критической нагрузки, которая определялась численным методом [2]. При приближении к критической нагрузке величина ступеней нагружения уменьшалась. На завершающей стадии испытания при приближении нагрузки к критической значительно ускорялся рост вертикальных перемещений пирамиды, поэтому для синхронизации отсчетов индикатора домкрата и центрального прогибомера показания последнего записывались на видеокамеру. По результатам физического эксперимента построены кривые равновесных состояний пирамид (рис. 3–5).

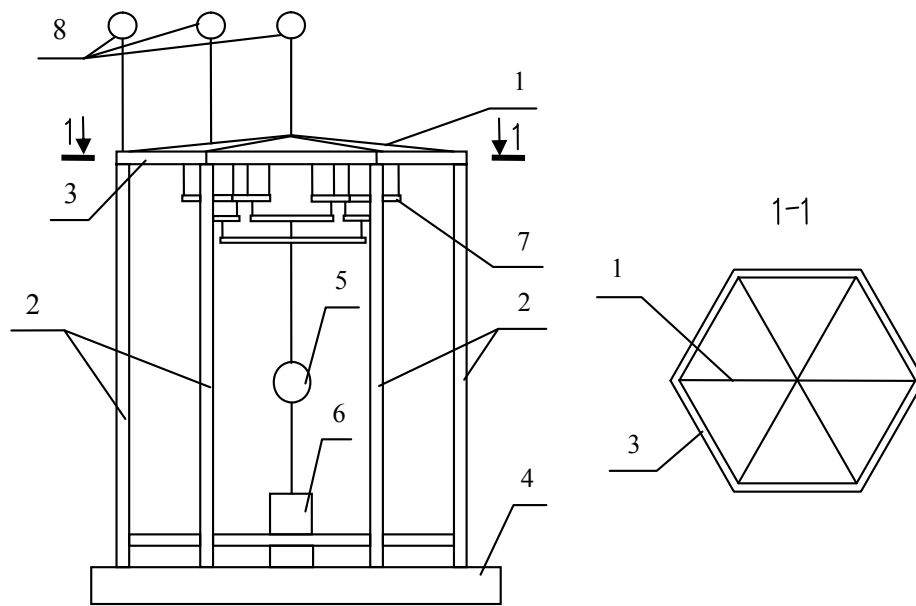


Рис. 2. Стенд для испытания фрагмента сетчатого купола в виде пирамиды:
 1 – испытуемый фрагмент купола; 2 – стойки стенда (уголок 50×50); 3 – верхний пояс стенда (уголок 50×50); 4 – фундамент; 5 – динамометр; 6 – домкрат; 7 – грузовая подвеска; 8 – прогибомеры

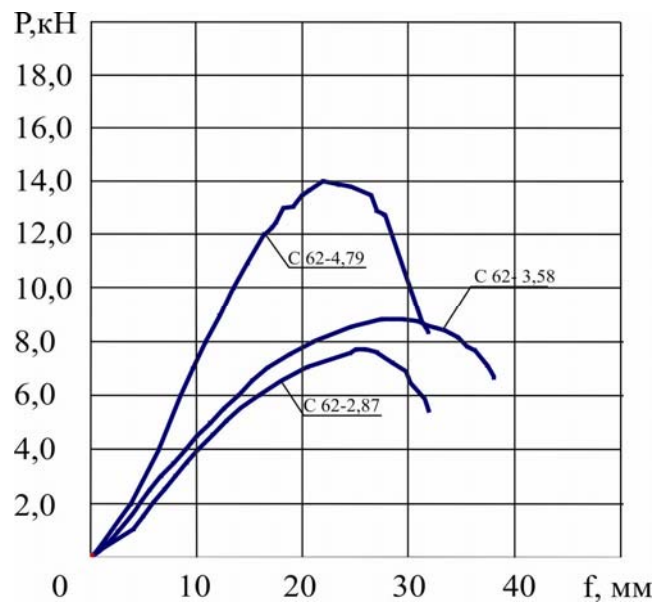


Рис. 3. Экспериментальные кривые равновесных состояний для стержневых пирамид (высота ребра 62 мм)

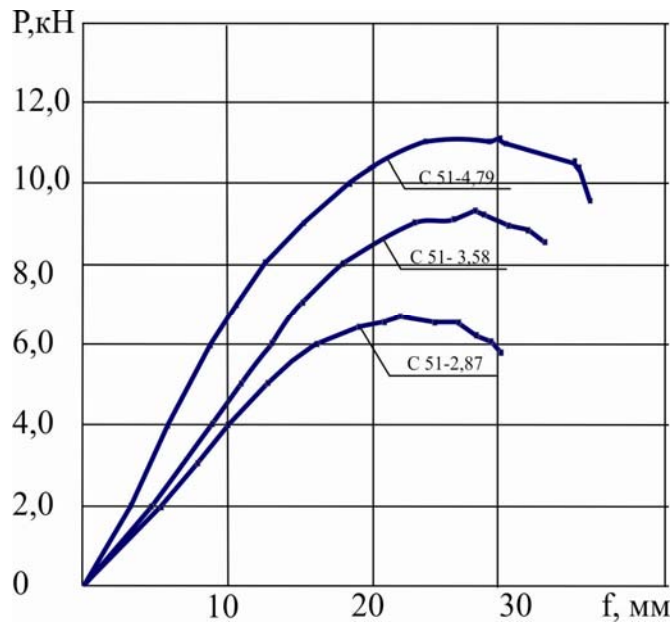


Рис. 4. Экспериментальные кривые равновесных состояний для стержневых пирамид (высота ребра 51 мм)

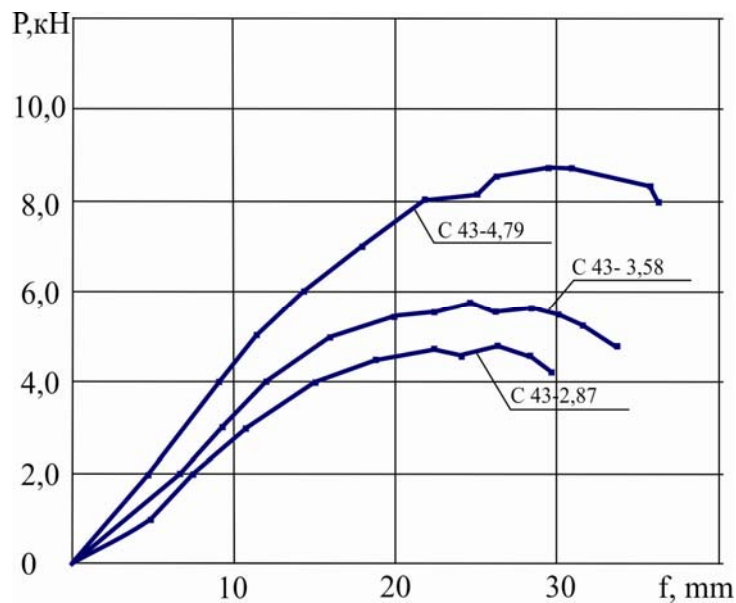


Рис. 5. Экспериментальные кривые равновесных состояний для стержневых пирамид (высота ребра 43 мм)

Величина критической нагрузки существенным образом зависит от начальных несовершенств, к которым в частности можно отнести отклонение положения узлов от сферической поверхности. В [3] приведена методика определения параметра снижения критической нагрузки, который зависит от геометрических параметров купола и допускаемого отклонения на изготовление отдельных ребер.

Отношение величины экспериментальной критической нагрузки к теоретической составило от 0,64 до 0,96, что вызвано влиянием начальных несовершенств (см. табл. 2). Эти несовершенства обусловлены в первую очередь отклонением геометрических параметров испытываемых пирамид от проектных, что приводит к неравномерному включению отдельных ребер в работу всей пирамиды, особенно на начальных этапах нагружения. Такое предположение подтверждается анализом экспериментальных

кривых равновесных состояний. Для всех пирамид кривые равновесных состояний при нагрузках, равных $(0,1-0,2)P_{cr}$, имеют отрицательную кривизну, особенно это характерно для пирамид с малым углом наклона. Такую же особенность имеют и кривые, полученные в [1] при испытании фрагмента купола. Кроме того, к начальным несовершенствам можно отнести также различные пороки древесины (сучки, косослой и т.п.), вследствие которых уменьшается модуль упругости древесины и, следовательно, критическая нагрузка. В табл. 2 приведены также значения параметра снижения критической нагрузки, вычисленные по методике, изложенной в [3]. Значения этого параметра находятся в интервале от 0,64 до 0,76.

Т а б л и ц а 2

Сравнение экспериментальных и теоретических значений критической нагрузки

Марка пирамиды	Критическая нагрузка по численному эксперименту P_{cr}^n , КН	Критическая нагрузка по физическому эксперименту P_{cr}^{ϕ} , КН	$\frac{P_{cr}^{\phi}}{P_{cr}^n}$	Параметр снижения критической нагрузки по [3]
C62-4,79	18,73	14,0	0,75	0,76
C62-3,58	13,82	8,8	0,64	0,72
C62-2,87	11,04	7,8	0,71	0,69
C51-4,79	13,76	11,1	0,81	0,73
C51-3,58	9,9	9,5	0,96	0,7
C51-2,87	7,75	6,8	0,88	0,67
C43-4,79	10,57	8,7	0,82	0,71
C43-3,58	7,42	5,8	0,78	0,67
C43-2,87	5,72	4,8	0,84	0,64

Процелкивание пирамид (угол наклона $\alpha=4,79^\circ$) сопровождалось большими пластическими деформациями древесины около центрального узла с последующим разрушением ребра в зоне приложения вертикальной нагрузки (в 1/3 пролета) (рис. 6). Разрушение начиналось с образования характерной складки в сжатой зоне ребра и заканчивалось разрывом растянутой древесины.



Рис. 6. Разрушение ребра пирамиды C51-4,79 в растянутой зоне

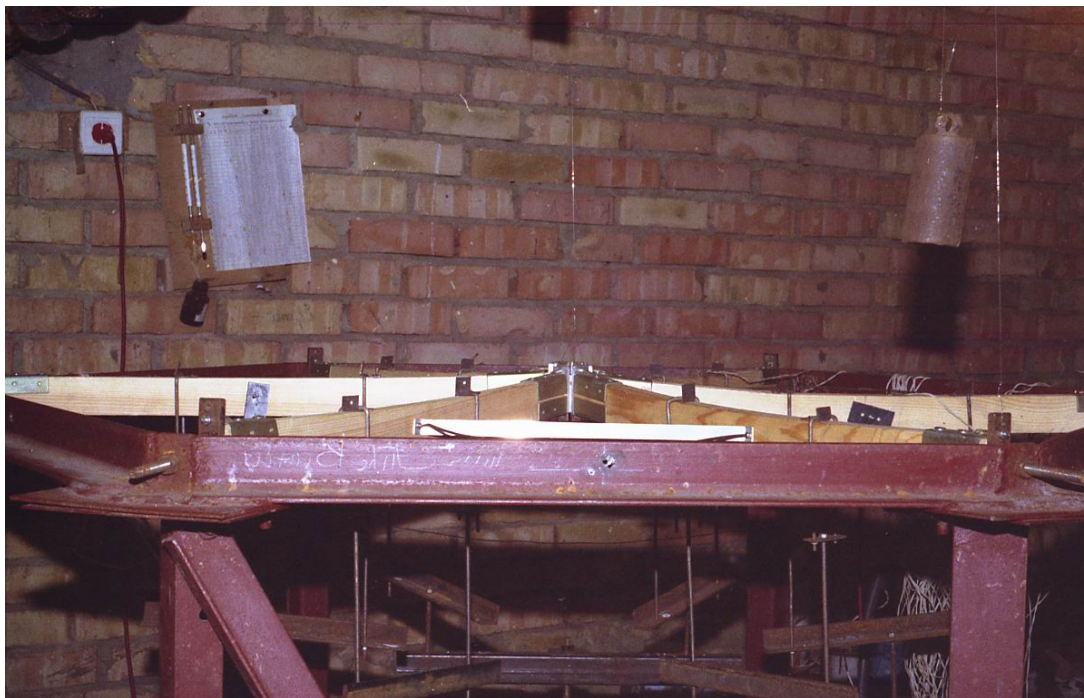


Рис. 7. Значительные прогибы ребер в момент «прощелкивания» (С43-3,58)

Для пирамид с относительно малым углом наклона ($3,58^\circ$ и $2,87^\circ$) явных следов разрушения ребер не наблюдалось, однако в момент прощелкивания в узлах пирамид фиксировалось легкое потрескивание, свидетельствующее об интенсивном обмятии древесины в узлах, а сами деревянные элементы имели прогиб, равный $1/50$ – $1/100$ длины элементов (рис. 7). Такой прогиб является одним из признаков разрушения деревянных конструкций.

Схемы разрушения, полученные в ходе физического эксперимента, соответствуют схемам, полученным в ходе компьютерного моделирования разрушения деревянных элементов купола [4].

Выводы

1. Разработан метод определения критической нагрузки, учитывающий конструктивные решения и особенности статической работы сетчатых деревянных куполов.
2. Критическую нагрузку при местной потере устойчивости предлагается определять по формуле

$$P_{cr} = P_{эт} \cdot K_{жу} \cdot K_{од} \cdot K_{фн} \cdot K_{вн} \cdot K_{нн},$$

где $P_{эт}$ – критическая нагрузка для «эталонной» пяти- или шестиугольной пирамиды, а $K_{жу}$, $K_{од}$, $K_{фн}$, $K_{вн}$, $K_{нн}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно жесткость узлов, обмятие древесины в узлах, физическую нелинейность древесины, внеузловой характер нагрузки и начальные несовершенства, определяемые по [2].

3. Коэффициент, учитывающий начальные несовершенства, рекомендуется определять по методике, изложенной в [3].

Список литературы

1. Журавлев, А.А. Прощелкивание стержневой конструкции одноясного сетчатого купола / А.А. Журавлев, Лонг Кимсуор // Легкие строительные конструкции – Ростов н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2006. – С.28–35.

2. Миряев, Б.В. Определение критической нагрузки при местной потере устойчивости сетчатых деревянных куполов / Б.В. Миряев, А.А. Кузнецов // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №1(26). – С.90–99.

3. Металлические конструкции / под ред. А.П. Мельникова. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с.

4. Миряев, Б.В. Экспериментально-теоретические исследования сжато-изгибаемых деревянных элементов купола в предельном состоянии / Б.В. Миряев, С.А. Толушов // Известия вузов. Строительство. – 2014. – №1. – С.108–116.

References

1. Zhuravlev, A.A., Buckling rod construction single belt mesh dome / A.A. Zhuravlev, Long Kimsuor // Lightweight constructions – Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering, 2006. – P. 28–35.

2. Miryaev, B.V. Determination of the critical load when local buckling netted wooden dome / B.V. Miryaev, A.A. Kuznetsov // Regional architecture and engineering. – 2016. – №1(26). – P.90–99.

3. Metal construction / ed. AP Melnikova. – 2nd ed., rev. and ext. – M.: Stroyizdat, 1980. – 776 p.

4. Miryaev, B.V. Experimental and theoretical researches of compressed flexural wooden elements of the dome at the extreme state / B.V. Miryaev, S.A. Tolushov // News of higher educational institutions. Construction. – 2014. – №1. – P.108–116.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРОЧНОСТЬ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

М.В. Кочеткова

Приведены результаты анализа основных факторов, влияющих на прочность каменной кладки. Раскрыты некоторые особенности применения кладочных растворов при различных температурных режимах. Сформулированы способы повышения прочности каменной кладки.

Ключевые слова: каменная кладка, кирпичная кладка, кладочные растворы, технологические процессы

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON THE STRENGTH OF MASONRY

M.V. Kochetkova

The above analysis of the main factors affecting the strength of masonry are given. Some features of using masonry mortar at different temperature are discussed. The ways of increasing masonry strength are formulated.

Keywords: masonry, mortars, technological processes

Прочность каменной кладки зависит не только от свойств камня и раствора, но и от влияния на нее технологических процессов. Изменяющиеся во времени физико-механические свойства растворов от момента приготовления до приобретения марочной прочности определяют порядок работы при изготовлении каменных конструкций в различных температурно-влажностных условиях.

Каменные материалы для кладки могут быть искусственными и естественными. Основные виды кладки: кирпичная, блочная, бутовая, тёсовая. Помимо обычного кирпича в строительстве применяется прессованный кирпич, он прочнее керамического кирпича на 50–70 %, и его сцепление с раствором на 75–100 % выше, чем с керамическим. Камень хорошо работает лишь на сжатие и обладает слабым сопротивлением изгибу, поэтому прочность кирпичной кладки составляет приблизительно 50 % от предела прочности кирпича на сжатие.

Слабым местом в кладке является раствор. Чем менее прочен раствор в кладке, тем легче он сжимается и, следовательно, тем больше возникают общие деформации кладки, напряжения изгиба и среза в каждом кирпиче. Чтобы получить более прочную кладку, применяют раствор более высокой марки. Помимо марки раствора большое значение имеет пластичность раствора, поэтому в раствор добавляют пластификаторы. Пластичные растворы лучше расстилаются по постели кирпича, обеспечивая более равномерную толщину и плотность шва. Чем толще шов, тем труднее достигнуть равномерной его плотности. При толстых швах увеличиваются деформации и снижается прочность кладки. Поэтому для каждого вида кладки установлена определенная толщина швов (8–15 мм), увеличение которой снижает прочность конструкций.

На прочность кладки влияют также размеры и форма каменных материалов. С увеличением высоты камня уменьшается количество горизонтальных швов в кладке и увеличивается сопротивление его изгибу пропорционально квадрату высоты камня. В связи с этим при одинаковой прочности камней более прочной будет та кладка, которая выполнена из камней большей высоты.

Конструктивные решения каменных элементов также влияют на прочность кладки. В зависимости от вида кирпича и способа кладки кирпичная стена может быть: сплошной из полнотелого кирпича, сплошной из пустотелого кирпича, пустотелой (облегченной).

Сплошные кирпичные стены выкладываются по однорядной или многорядной системе перевязки швов кладки. Однорядная (цепная) перевязка швов, когда чередуются через один тычковые и ложковые ряды, обеспечивает более высокую прочность каменной конструкции. Толщину стен принимают кратной длине кирпича или его половине. Размеры обычного кирпича $250 \times 120 \times 65$, т.е. толщина кладки из обычного кирпича может быть в полкирпича – 12 см, в один кирпич – 25 см, в 1,5 кирпича – 38 см, в 2 кирпича – 51 см, в 2,5 – 64 см, в 3 кирпича – 77 см. Швы кладки заполняют известковым, цементным или известково-цементным раствором. Сплошная кладка из полнотелого глиняного или силикатного кирпича прочнее сплошной кладки из пустотелого кирпича. Однако в верхних этажах многоэтажных зданий целесообразно применять кирпичи с щелевидными пустотами для снижения массы стены, а следовательно, и снижения давления на фундамент. В нижних этажах многоэтажных зданий, где действуют значительные нагрузки, лучше подходят полнотелые кирпичи и блоки.

Облегченная (пустотелая) кладка уступает по прочности сплошной кладке. В этой кладке часть конструкций из кирпича заменяют теплоизоляционными плитами, легким бетоном, минеральной засыпкой. Такая кладка позволяет снизить нагрузку на фундамент и повысить тепло- и звукоизоляционные качества стен.

Для опоры сборных конструкций используют целые тычковые ряды. Плиты опирают не менее чем на 0,5 кирпича, перемычки – не менее чем на 1 кирпич (25 см). Запрещено опирать на утолщенный слой раствора с кирпичным щебнем. При однорядной перевязке швов допускается опирать сборные конструкции и на ложковые ряды.

Для повышения несущей способности стен, столбов и узких простенков применяют поперечное и продольное армирование кладки, размещая арматуру в горизонтальных и вертикальных швах. При этом швы имеют толщину, необходимую для укладки арматуры и создания защитных слоёв по 2 мм с каждой стороны, то есть в сумме 4 мм. Сетки в горизонтальных швах ставят по расчёту, но не реже чем через 5 рядов. При продольном армировании стержни размещают в вертикальных швах или снаружи конструкции.

Углы проемов подвержены неравномерной нагрузке. Поэтому во избежание трещин в углах окон и дверей надо армировать 2 ряда кладки над и под проемами. Во всех местах перепада высот, если проектом не предусмотрен деформационный шов, рекомендуется местное армирование кладки.

Одно из основных условий повышения прочности кладки – правильное выполнение всех технологических процессов. Равномерное заполнение и уплотнение швов, правильная перевязка швов кладки обеспечивают высокую прочность кладки. Существует 150 вариантов перевязки швов. При всём многообразии вариантов порядок укладки камней относительно друг друга должен соответствовать правилам разрезки каменной кладки, которых всего три. Первое: камень укладывают плоскими рядами, перпендикулярными действующей силе; второе: членение кладки швами делают по трём взаимно перпендикулярным плоскостям; третье: продольные и поперечные вертикальные швы в кладке не должны быть сквозными по высоте конструкции, чтобы кладка не оказалась расчленённой на отдельные столбики.

При кладке кирпича каменщик использует различные приёмы и способы. Самый простой способ – «вприсык». Кирпичом, находящимся под углом к растворной постели, подгребают раствор для вертикального шва, затем кирпич осаживают рукой до нужной толщины шва. Есть способ «вприсык с подрезкой раствора», когда после

формирования вертикального шва каменщик удаляет излишки раствора, подрезая их кельмой. Более сложный способ – «вприжим». Каменщик правой рукой держит кельму, подгребаёт с её помощью часть раствора и прижимает к ранее уложенному кирпичу.левой рукой каменщик укладывает кирпич, прижимая его вплотную к ребру кельмы. Затем кельму вынимает, осаживает кирпич рукой. Способ «вприжим» обеспечивает самую прочную кладку, чистую и с хорошим заполнением швов. В то же время этот способ является самым трудоёмким из всех перечисленных.

В местах временного перерыва кладки устраивают штрабы, чтобы при дальнейшем продолжении работ была бы обеспечена надёжная перевязка новой части кладки с ранее возведённой. Штрабы могут быть убежными наклонными и вертикальными. В вертикальные штрабы закладывают стальную арматуру через каждые 2 метра по высоте, в том числе в уровне каждого перекрытия.

Здания из кирпича плохо переносят землетрясения; полностью разрушаясь, они уносят человеческие жизни. Желая сделать кирпичные здания менее опасными, учёные предлагают новые разработки, например, сейсмоустойчивые соединения, которые позволят кладке перемещаться, при этом не разрушаясь, или отделочный слой из стекловолокна, который разработали немецкие исследователи из Технологического института Карлсруэ и компании Bayer AG. Такой слой крепится к стенам при помощи полиуретаново-водной смеси. Исследователи использовали жёсткое стекловолокно, сплетённое в маты, в которых волокна расположены в четырёх направлениях, чтобы равномерно распределять энергию колебания элементов стены по всей её поверхности. Для того чтобы эта схема заработала, понадобился принципиально новый способ крепления слоя стекловолокна к стенам. Была получена клеящая смесь из воды и большого количества мелких полиуретановых шариков. По мере того как связующий материал проникает в углубления на каменной или кирпичной кладке (теоретически пригодны стены из любых шероховатых материалов), вода испаряется, а шарики полиуретана скрепляются друг с другом, подобно пенополиуретановой монтажной пене, которую применяют при монтаже пластиковых окон. При помощи новой оболочки в сейсмоопасных зонах можно будет обезопасить даже старые здания, построенные без учёта современных требований.

Кроме землетрясений экстремальными условиями являются неблагоприятные температурные режимы в зимний период и в жару. В зимних условиях применяют способ замораживания, противоморозные добавки для раствора, электропрогрев кладки. Кирпичная кладка, выполненная способом замораживания, получается менее прочной, чем летняя кладка. Эту потерю прочности нужно компенсировать повышением марки кладочного раствора на одну ступень, т.е. если мы в летних условиях вели согласно указаниям проекта кладку на растворе марки 75, то в зимних условиях (минимальная температура воздуха не ниже 0 °С, а среднесуточная – не ниже +5 °С) нужно вести кладку на растворе марки 100. Кроме того, раствор необходимо подогреть. Температура раствора в рабочем ящике каменщика должна быть не ниже +10 °С, а при более низких температурах положительное числовое значение температуры раствора должно быть не меньше числового значения температуры морозного воздуха. Подогрев раствора необходим для обеспечения хорошего сцепления раствора с кирпичом, который достигается лучшим заполнением швов раствором, а также вследствие опрессовки швов в кладке за счет веса вышележащих рядов кирпича. При холодном растворе шов толщиной 12 мм быстро замерзает, вследствие чего кладка, выполняемая при морозе ниже –20 °С, еще менее прочна, чем кладка, которую кладут на несильном морозе (–10 °С ... –20 °С). По этой причине марку раствора в кладке, выполняемой на сильном морозе, повышают еще на одну ступень, так как раствор в швах смерзается почти мгновенно и сцепление раствора с кирпичом будет минимальным, поскольку опрессовка раствора в швах недостаточна. Раствор должен успеть приобрести критическую прочность (приблизительно 20 % от проектной прочности) до того, как начнёт замерзать. Кладка в зимних условиях должна выполняться на цементных, цементно-известковых или цементно-глиняных растворах. Известковые и известково-глиняные не способны набирать прочность после оттаивания.

В периоды оттаивания раствора в швах кладки весной или в продолжительные оттепели его прочность приближается к нулевой, т.е. кладка находится в критическом состоянии. В эти периоды за состоянием кладки наблюдает специально созданная комиссия, членами которой являются опытные инженерно-технические работники.

До начала кладочных работ высоту кладки на замораживание нужно устанавливать расчетом, исходя из нулевой прочности раствора. В жилых домах с высотой этажа до 3 м на замораживание выполнять не более 4 этажей. Не допускать свободностоящих каменных конструкций: столбов, простенков, протяженных стен и др., не раскрепленных перекрытиями. При необходимости свободностоящие конструкции можно закрепить подкосами или расчалками.

При проверке качества зимней кладки следует особое внимание обратить на толщину швов, особенно горизонтальных. Ведь даже при швах толщиной 12 мм кладка при оттаивании может сделать просадку по вертикали до 0,5 мм на каждый метр своей высоты. Поэтому большая толщина швов недопустима. Просадка опасна и по другой причине. При просадке, особенно при толстых швах, установленные в проемах оконные и дверные блоки могут быть просто раздавлены оттаивающей кладкой.

В жаркую погоду также следует соблюдать некоторые правила: применять пластификаторы для раствора, кирпич увлажнять, кладку притенять. В качестве пластификаторов можно применять известь, глину, что будет способствовать лучшему заполнению швов в кладке.

На прочность кладки может повлиять и отделка швов. Форма швов зависит от архитектурного замысла и формируется при помощи специального инструмента – расшивки, иногда применяют кельму. Если поверхность кладки будет оштукатуриваться, то наружные швы не заполняют раствором на глубину 1–1,5 см, чтобы улучшить сцепление штукатурки с камнем; такая кладка называется «впустошовку». Во всех остальных случаях швы заполняют кладочным или декоративным растворами и придают им определенную форму: вподрезку, выпуклый или вогнутый. Заполнение и уплотнение швов кирпичной кладки сокращает количество влаги, которая попадает в швы. Это позволит продлить срок службы всего дома. Правильная расшивка увеличит теплоизоляционные свойства кирпичных стен, так как швы являются основным источником потери тепла.

Изложенное выше позволяет определить в качестве основных факторов, влияющих на прочность каменной кладки:

- качество материалов для каменной кладки (каменные материалы и кладочные растворы);
- качественное выполнение технологических процессов каменной кладки с учётом процессов структурообразования в растворе, в том числе в неблагоприятных температурных условиях;
- размеры и форму каменных материалов;
- конструктивное решение каменных элементов;
- наличие армирования;
- способ укладки кирпича: «вприсык» или «вприжим»;
- толщину растворных швов;
- отделку швов кладки.

Одним из основных факторов для организации и технологии строительных процессов является период структурообразования растворных смесей: смесь должна употребляться до начала схватывания; нельзя перемешивать, разжижая водой, загустевший вследствие схватывания раствор (нарушенная структура вновь не восстанавливается).

Прочность каменной кладки зависит не только от качества и прочности применяемых материалов, но и от правильного соблюдения технологических процессов, которые направлены на получение монолитного массива из отдельных камней и раствора, особенно в сложных температурных условиях.

Список литературы

1. Гусев, Н.И. Технологические процессы в строительстве / Н.И.Гусев, М.В. Кочеткова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 83 с.
2. Гусев, Н.И. Выполнение строительных процессов с применением растворов и бетонов / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, Е.С. Аленкина // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №5–1 (37). – С. 20.

References

1. Gusev, N.I. Processes in the construction / N.I.Gusev, M.V. Kochetkova. – Penza: PGUAS, 2015. – 83 p.
2. Gusev, N.I. Execution of construction processes using mortars and concretes / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, E.S. Alenkina // Modern scientific research and innovation. – 2014. – №5–1 (37). – P. 20.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Комаров Виктор Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Болдырева Ольга Вячеславовна,
аспирант, старший преподаватель кафедры
«Строительные конструкции»
E-mail: boov@yandex.ru

Болдырев Сергей Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: boldyrev-s@ya.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Comarov Victor Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Professor of the department «Building
constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Boldyreva Olga Vajcheslavovna,
Postgraduate student, Senior Lecturer of the
department «Building constructions»
E-mail: boov@yandex.ru

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

РАБОТА ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ В СЖАТЫХ ПОЛОСАХ БЕТОНА КОНСОЛЬНЫХ ОПОР РИГЕЛЕЙ

В.А. Комаров, О.В. Болдырева, С.А. Болдырев

Представлен сравнительный анализ существующих методов оценки влияния на прочность сжатых полос коротких консолей ригелей (с подрезкой) поперечной арматуры. Рассмотрены нормативный и аналитический методы расчёта (в последнем арматура располагается под углом к сжатой полосе и оказывает два вида сопротивления: препятствует развитию поперечных деформаций в бетоне сжатой полосы и развитию деформаций укорочения бетона вдоль полосы).

Ключевые слова: многоэтажные каркасы, консольная опора ригеля, сжатая полоса бетона, поперечная арматура, деформации бетона

WORK OF TRANSVERSE REINFORCEMENT IN COMPRESSED STRIPS OF CONCRETE CANTILEVER SUPPORTS OF THE GIRDERS

V.A. Comarov, O.V. Boldyreva, S. A. Boldyrev

A comparative analysis of existing methods of assessing the influence of short consoles crossbars (with trimming) on the strength of compressed strips of the transverse reinforcement is given. Normative and analytical calculation methods are discussed (in the last is at an angle to the coiled strip and have two types of resistance: it prevents the development of lateral deformations in the concrete of the compression strip and the development of deformation shortening of the concrete along the strip).

Keywords: multi-storey frames, cantilever support bolt, a coiled strip of concrete, transverse reinforcement, strain of concrete

Рассмотрим методы оценки влияния поперечной арматуры на прочность сжатых полос консольных опор ригелей с подрезкой многоэтажных каркасов. Сжатая полоса консоли ригеля является нормативным расчётным сечением, принятым СНиП 2.03.01-84* (рис. 1).

В ригелях с подрезкой экспериментально обосновано возможное формирование трёх сжатых полос бетона [7]. Первая полоса расположена над опорной площадкой короткой консоли по направлению к условной грузовой площадке, образованной

узлом сопряжения пакета сосредоточенных хомутов A_{sw1} с продольной арматурой ригеля A_s' .

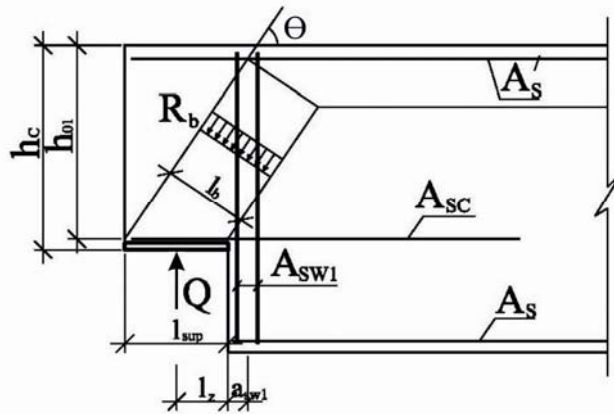


Рис. 1. Нормативная стержневая модель сжатой полосы бетона короткой консоли ригеля (с подрезкой)

Вторая полоса расположена над опорной площадкой по направлению к физической грузовой площадке при пролётах среза $0,9h_{01} \leq a \leq 1,5h_{01}$.

Третья полоса расположена над условной опорной площадкой, образованной узлом сопряжения пакета сосредоточенных хомутов A_{sw1} с продольной арматурой ригеля A_s по направлению к физической грузовой площадке при пролётах среза $1,5h_{01} \leq a \leq 2,5h_{01}$ (рис. 2).

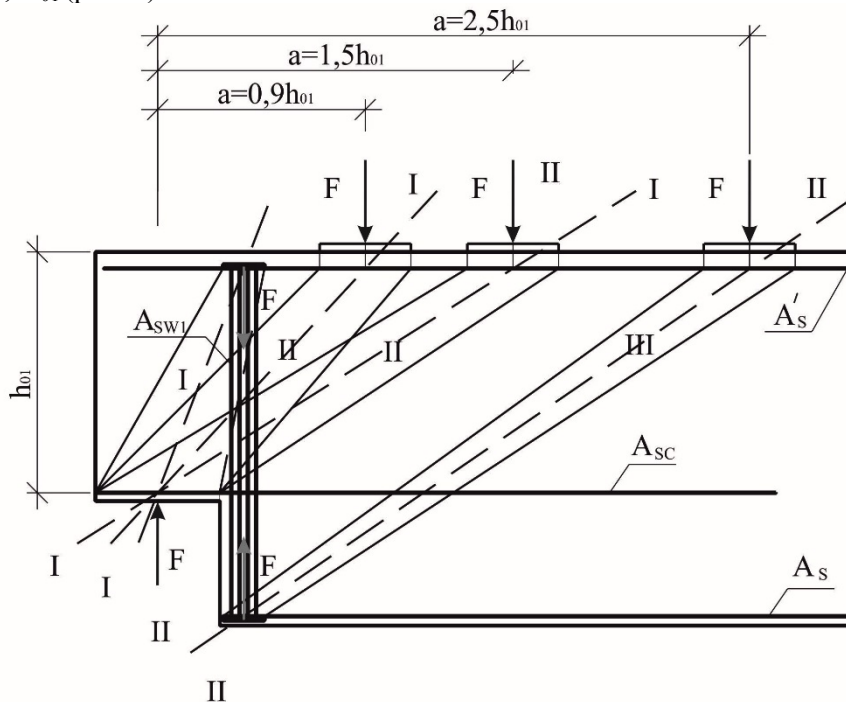


Рис.2. Схемы сжатых полос бетона между физическими и условными грузовыми и опорными площадками:

- I – между опорной площадкой короткой консоли и условной грузовой площадкой пакета сосредоточенных хомутов A_{sw1} с продольной арматурой ригеля A_s' ;
- II – между опорной площадкой короткой консоли и физической грузовой площадкой при пролёте среза $0,9h_{01} \leq a \leq 1,5h_{01}$;
- III – между условной опорной площадкой пакета сосредоточенных хомутов A_{sw} с продольной арматурой ригеля A_s и физической грузовой площадкой при пролёте среза $1,5h_{01} \leq a \leq 2,5h_{01}$

Существует два подхода к учету влияния поперечной арматуры на несущую способность сжатой полосы, расположенной над опорной площадкой короткой консоли ригеля. Первый подход, принятый в СНиП 2.03.01-84*, заключается в введении в условие прочности (207, [2]) коэффициента φ_{w2} , учитывающего на основании эмпирической оценки работу поперечной арматуры.

$$Q \leq R_b b l_{\text{sup}} \sin^2 \theta \cdot \varphi_{w2}, \quad (207, [2]),$$

где $\varphi_{w2} = 1 + 5\alpha\mu_{w1}$; $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$; $\mu_{w1} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_w}$ – коэффициент армирования хомутами, расположенными по высоте консоли.

Второй подход заключается в том, что аналитическим путем оцениваются две функции, выполняемые арматурой, расположенной в пределах сжатой полосы [5]. Считается, что арматура, расположенная под углом к наклонной сжатой полосе, оказывает два вида сопротивления. Она препятствует развитию поперечных деформаций в бетоне полосы и развитию деформаций укорочения бетона вдоль полосы. В первом случае ее работу можно считать косвенной, во втором – прямым участием в работе сжатой полосы. Степень участия поперечной арматуры будет определяться проекцией усилий на поперечную и продольную оси бетонной полосы. Условие прочности будет иметь вид

$$Q = \gamma_b R_b b l_b \sin \theta + N_s,$$

где $\gamma_b R_b b l_b \sin \theta$ – усилие, воспринимаемое бетоном условно выделенной наклонной сжатой полосы; N_s – усилие, воспринимаемое поперечной арматурой;

$$N_s = [N_{sn} + N_{sk}] \sin \theta.$$

Здесь N_{sn} – усилие в арматуре при её прямом участии в работе наклонной сжатой полосы, определяемое по формуле

$$N_{sn} = \gamma_s \mu_{sw} R_s b l_b \sin \theta;$$

N_{sk} – усилие в арматуре при её косвенной работе в наклонной сжатой полосе, определяемое по формуле

$$N_{sk} = \varphi_s \gamma_s R_s l_b \sin \theta,$$

где φ_s – коэффициент косвенного армирования, $\varphi_s \leq 2,5$; γ_s – опытный коэффициент; θ – угол между направлением соответствующего вида поперечной арматуры и направлением наклонной сжатой полосы.

На рис. 3 показан фрагмент, иллюстрирующий взаиморасположение наклонной сжатой полосы и поперечной арматуры, которая располагается под углом θ .

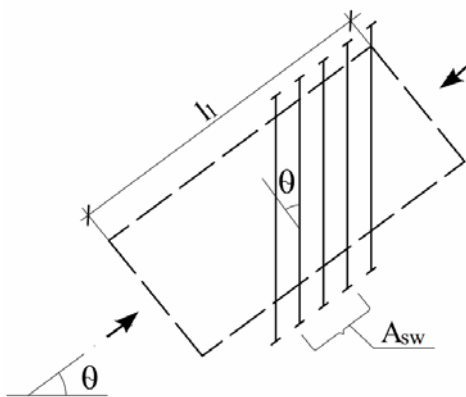


Рис. 3. Фрагмент расчетной полосы

При сопоставлении результатов опытов и расчетной зависимости $Q = \gamma_b R_b b l_b \sin \theta + N_s$ на графике (рис. 4), можно отметить, что предлагаемая методика более точно оценивает влияние поперечной арматуры на прочность сжатой полосы, отражая закономерность роста несущей способности.

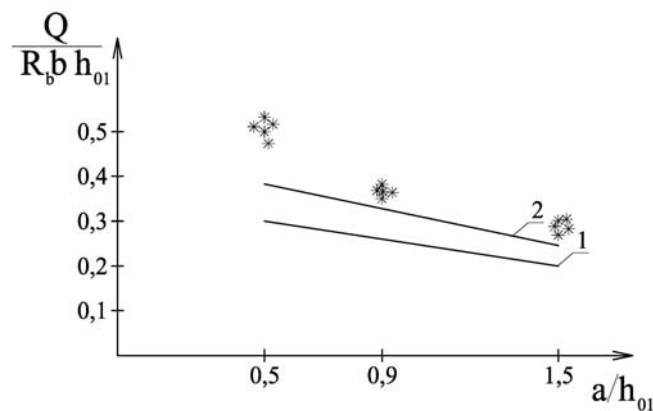


Рис.4. Сопоставление методов расчёта прочности сжатых полос бетона консольных опор ригелей при изменении пролёта среза:

1 – по нормативной зависимости (207, [2]); 2 – по предлагаемой методике; * – опытные данные

Выводы

1. Показано, что методика оценки работы поперечной арматуры в сжатой полосе бетона, принятая СНиП 2.03.01-84* на основании эмпирической оценки не вполне отражает закономерности роста несущей способности. Запас прочности составляет 35 %.

2. Предложена аналитическая методика для оценки работы поперечной арматуры, расположенной под углом к наклонной сжатой полосе. Показано, что поперечная арматура препятствует развитию поперечных деформаций в бетоне полосы и деформаций укорочения бетона вдоль полосы.

3. Степень участия поперечной арматуры в работе наклонной полосы определяется проекцией усилий на поперечную и продольную оси бетонной полосы.

Список литературы

1. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1984.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01.-84*). – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 192 с.
3. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: НИИЖБ Госстроя России, 2004.
4. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры СП 52-101-2003. – М., 2004.
5. Баранова, Т.И. Каркасно-стержневые расчетные модели и инженерные методы расчета железобетонных конструкций / Т.И. Баранова, А.С. Залесов. – М.: АСВ, 2003.
6. Баранова, Т.И. Теория расчета железобетонных конструкций на основе аналоговых каркасно-стержневых моделей: научно-методическое пособие / Т.И. Баранова, Ю.П. Скачков. – М.: Изд-во «Спутник+», 2011. – 224 с.
7. Баранова, Т.И. Аналоговые каркасно-стержневые модели сопротивления несущих элементов каркасов многоэтажных зданий / Т.И. Баранова, В.А. Комаров, Э.В. Егинов. – М.: Изд-во «Спутник+», 2011. – 182 с.
8. Комаров, В.А. Экспериментальная теория сопротивления ригелей с подрезкой: монография / В.А. Комаров. – М.: Изд-во «Спутник+», 2013. – С.199.

References

1. SNiP 2.03.01-84*. Concrete and reinforced Concrete structures. – M.: Stroyizdat, 1984.
2. A manual for design of concrete and reinforced concrete structures made of heavy and light concrete without prestress reinforcement (to SNiP 2.03.01.-84*). – M.: TSITP of USSR Gosstroj, 1989. – 192 p.
3. SNiP 52-01-2003. concrete and reinforced Concrete structures. The main provisions. – M.: NIIZHB of Gosstroy of Russia, 2004.
4. A set of rules for design and construction. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing SP 52-101-2003. – M., 2004.
5. Baranova, T.I. Frame-and-rod design model and engineering methods of calculation of reinforced concrete structures / T.I., Baranova A.S. Zalesov. – M.: ASV, 2003.
6. Baranova, T.I. Theory of calculation of reinforced concrete structures based on an analog frame-and-rod models: scientific- methodical manual / T.I. Baranova, Y.P. Skachkov.– M.: Publishing House «Sputnik+». 2011. – 224 p.
7. Baranova, T.I. Analog frame-and-rod model, the resistance of load-bearing elements and design of buildings / T.I. Baranova, V.A. Komarov, E.V. Eginov. – M.: Publishing House «Sputnik+», 2011. – 182 p.
8. Komarov, V.A. Experimental theory of the resistance of girders with trimming: monograph / V.A. Komarov. – M.: Publishing House «Sputnik+», 2013. – P.199.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 697.3+697.353

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,
2-я Красноармейская ул., д.4,
тел. (812) 575-05-34;
факс: (812) 316-58-72, 316-49-06

Жданова Анна Григорьевна,
аспирант

E-mail: anna682008@mail.ru

Комина Галина Павловна,
кандидат технических наук, профессор

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Russia, 190005, Saint-Petersburg, 4,
2nd Krasnoarmeiskaya St.,
tel.: (812) 575-05-34;
fax: (812) 316-58-72, 316-49-06

Zhdanova Anna Grigorievna,
Postgraduate student

E-mail: anna682008@mail.ru

Komina Galina Pavlovna,
Candidate of Sciences, Professor

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПРИ ОТОПЛЕНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ГАЗОВЫМИ ИНФРАКРАСНЫМИ ГОРЕЛКАМИ

А.Г. Жданова, Г.П. Комина

Рассматриваются особенности отопления крупногабаритных помещений с использованием газовых инфракрасных излучателей. Представлено уравнение комфортного состояния человека, находящегося в помещении с лучистым отоплением. Приведена формула максимально допустимой облученности головы человека.

Ключевые слова: отопление крупногабаритных помещений, тепловой режим, микроклимат, газовые инфракрасные горелки, отопление лучистое, теория лучистого отопления, излучатель, обогрев рабочих мест

FEATURES OF THERMAL CONTROL FOR HEATING OF LARGE PREMISES WITH GAS INFRARED BURNERS

A.G. Zhdanova, G.P. Komina

The paper discusses the features of the heating of large premises with gas infrared emitters, particularly thermal control. An equation of a comfortable person state as well as the formula for the maximum permissible exposure of human head in the premises with gas infrared emitters is presented.

Keywords: heating of large premises, thermal control, climate, gas infrared burner, radiant heating, radiant heating theory, radiator, workplace heating

При проектировании крупногабаритных помещений часто возникает вопрос о выборе наиболее эффективной и экономически выгодной системы отопления. Одним из современных методов решения этой проблемы является система лучистого отопления на базе инфракрасных газовых излучателей.

Теория лучистого отопления

Любое нагретое тело излучает тепловую энергию в инфракрасном диапазоне спектра электромагнитных волн и при этом может передавать эту энергию в результате лучистого теплообмена другим телам.

Процесс передачи энергии происходит к телу с менее высокой температурой от тела с более высокой температурой, при этом разные тела имеют различные поглощающую и излучающую способности, которые зависят от состояния поверхности двух тел, от их природы и т.д.

При этом лучистый теплообмен отличается от конвекции тем, что теплота в этом случае может передаваться через вакуум. Тёплое тело направляет инфракрасное излучение на окружающие его предметы: пол, стены, технологическое оборудование, людей, находящихся в зоне обогрева, – которое поглощается ими и нагревает их.

Поток излучения при поглощении поверхностями, одеждой и кожей человека создает тепловой комфорт, не повышая при этом температуру окружающего воздуха. Поэтому она может быть ниже, чем в помещениях, в которых применяются другие виды отопления, что является преимуществом лучистого отопления. Воздух в обогреваемых помещениях, оставаясь практически прозрачным для инфракрасного излучения, нагревается за счет «вторичного тепла», т.е. конвекции от конструкций и предметов, нагретых излучением [1].

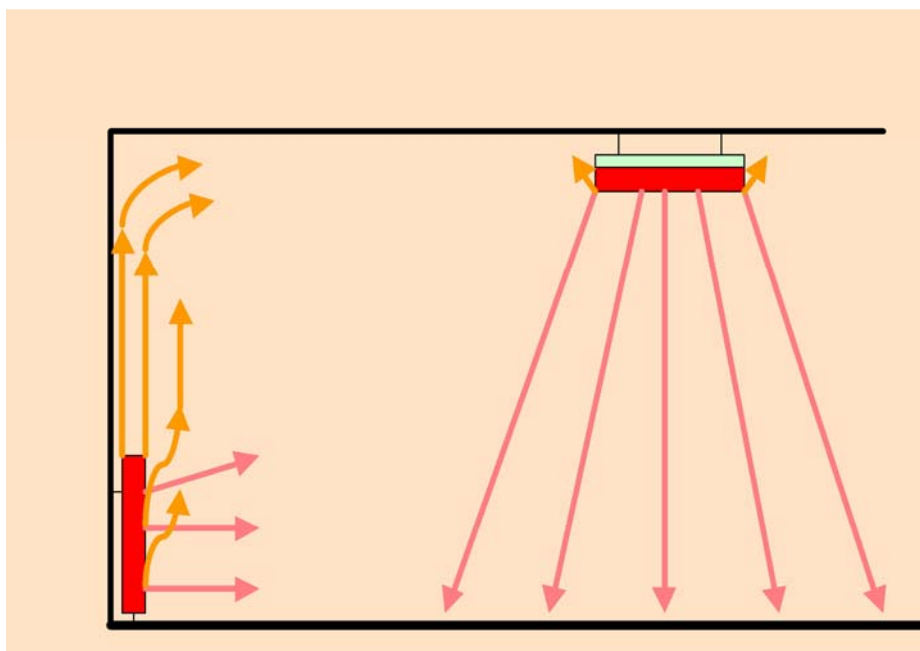
Электромагнитное излучение обладает квантово-фотонным характером. При взаимодействии с веществом фотон поглощается атомами вещества, передавая им свою энергию. При этом растет энергия тепловых колебаний атомов в молекулах вещества, т.е. энергия излучения переходит в теплоту.

Интенсивность теплопередачи путем теплопроводности и конвекции пропорциональна температуре, а лучистый тепловой поток пропорционален четвертой степени температуры (закон Стефана – Больцмана):

$$q = \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4), \quad (1)$$

где q – тепловой поток, Вт; σ – постоянная Стефана – Больцмана, $\sigma = (5,66961 \pm \pm 0,00096) \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²К⁴); A – площадь поверхности излучающего тела, м²; T_1 и T_2 – температуры, К, излучающего тела и окружения, поглощающего это излучение.

Таким образом, лучистое отопление является наиболее эффективным, а поэтому и самым экономичным видом отопления помещений с большой высотой потолка.



Распространение теплового потока в зависимости от вида отопления помещения

Экономия при использовании данного типа системы отопления достигается как в потреблении топлива, так и в более низких общих затратах на отопление здания. Область применения данного типа систем не ограничивается только промышленными объектами. Это могут быть складские здания, сооружения общественного назначения (музеи, выставочные комплексы, стадионы, торговые помещения), военные объекты, авиационные ангары, гаражи крупного транспорта, открытые площадки, отопление крупногабаритных помещений, отопление сельскохозяйственных помещений и др. И в разных странах эти системы отопления установлены в зданиях самого разного функционального назначения.

Несмотря на существенные преимущества, на данный момент инфракрасное отопление не получило широкого распространения. Причинами этого являются, с одной стороны, исторический фактор – в советское время для отопления крупногабаритных промышленных помещений использовали системы с центральными котельными, с другой стороны – недостаточно глубокие знания физического принципа лучистого отопления. Кроме того, разработка проекта лучистого отопления сложнее, в нем необходимо учитывать множество факторов, влияющих на тепловой комфорт человека, находящегося в зоне теплового облучения

При выборе системы отопления на основе газового инфракрасного излучения необходимо руководствоваться действующими в стране нормативными документами, так как в разных странах требования и ограничения к применению данного типа систем могут различаться. При проектировании системы лучистого отопления необходимо руководствоваться не только правилами пожарной безопасности, но и требованиям санитарной безопасности для поддержания микроклимата в помещении. **Главным ограничением применения систем лучистого отопления** является ограничение плотности теплового облучения в обслуживаемой или рабочей зоне помещения, которая не должна превышать 35 Вт/м^2 при температуре воздуха, соответствующей нижней границе оптимальных величин, при облучаемой поверхности тела более 50 %. Максимальная интенсивность инфракрасного облучения поверхности человеческого тела не должна превышать 250 Вт/м^2 на непостоянных рабочих местах и 150 Вт/м^2 на постоянных рабочих местах. Также необходимо учесть, что применение систем газового лучистого отопления ограничено: категоричностью помещений по степени огнестойкости – не ниже III степени огнестойкости; назначением помещений (склады пищевых продуктов, лакокрасочных изделий и т.п.); особенностью конструкции зданий (низкие потолки); наличием особого оборудования и инженерных коммуникаций, перекрывающих прямое тепловое излучение; наличием большой кратности воздухообменной вентиляции помещений.

Анализ процесса формирования теплового режима помещения

Существующие на данный момент методы расчета системы лучистого отопления с помощью газовых инфракрасных излучателей не дают возможности правильно спрогнозировать воздушный и тепловой режимы в помещении, оптимизировать расположение горелок и подобрать оптимальную систему вентиляции помещения. Рассчитанная мощность системы отопления по методикам, существующим на данный момент, дает лишь возможность приблизительного подбора количества и мощности горелок инфракрасного отопления.

При лучистом отоплении условия в помещении отличаются от условий при конвективном отоплении, поэтому необходимо изменить принятый подход к оценке комфортности. При получении людьми лучистой теплоты непосредственно от газовой инфракрасной горелки происходит изменение работы аппарата терморегуляции человека по сравнению с конвективным обогревом, поэтому использование норм, уже разработанных для конвективного отопления, приведет к значительной погрешности при оценке комфортности. Необходимо отделять тепловые потоки, идущие от человека в помещение и от излучателя к человеку.

Уравнение комфортного состояния человека выглядит следующим образом (в левой части – явные теплопотери через кожу человека; в правой – теплопродукция человека, от которой отняты скрытые теплопотери и вторая часть явных теплопотерь):

$$K_K = H - Q_{\text{яд}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{д}} - Q_{\text{п}}, \text{ Вт/м}^2. \quad (2)$$

Существуют дополнительные условия комфортности в помещении с газовым лучистым отоплением.

Особенность лучевого отопления состоит в том, что кроме соблюдения оптимального теплового баланса человека, необходимо еще введение дополнительных критериев комфортности. При расчетах лучистого отопления необходимо учитывать следующее:

- 1) облученность головы не должна превышать максимально допустимого значения;
- 2) асимметрия облучения человека должна соответствовать векторной температуре не более 10 °С;
- 3) неравномерность температуры по высоте тела ограничена 4 °С.

Богословский В.Н. утверждает, что лучистая теплоотдача наиболее невыгодно расположенного участка головы должна быть не менее 11,6 Вт/м². Тогда максимально допустимая облученность головы будет определяться по формуле

$$q_{\text{ГОЛ}} = \alpha_p (t_{\text{ГОЛ}} - t_p) - 11,6. \quad (3)$$

Введение дополнительных условий комфортного состояния человека приводит к ограничению мощности системы лучистого отопления или высоты расположения отопительных приборов.

Для анализа теплового режима в помещении должна быть разработана математическая модель, которая даст достаточно точные результаты и будет учитывать все особенности формирования теплового режима при выборе системы с лучистым отоплением. При создании математической модели необходимо учесть все постоянно действующие тепловые потоки в помещении, а также преимущества и недостатки лучистого отопления [4].

При применении системы газового лучистого отопления решаются проблемы теплопотерь в высоких помещениях. Градиент температур при традиционном отоплении достигает 2,5°С на 1 м высоты, а при лучистом отоплении он составляет 0,5°С на 1 м высоты. В случае применения систем газового лучистого отопления не образовывается тепловой «подушки» под потолком и кровля не перегревается. Если помещение имеет большую высоту и объем, то отопление его традиционными системами требует очень больших затрат.

К преимуществам лучистого отопления относится **отсутствие проблемы потерь теплоты при различных режимах работы системы отопления. Традиционное конвективное** отопление инерционно, а при использовании лучистого отопления температурный режим изменяется за несколько минут, т.к. в отапливаемой зоне находится температурный датчик, который регулирует температуру воздуха в помещении, что позволяет системе быстро реагировать на малейшие изменения температуры ($\pm 0,5^\circ$) и поддерживать ее постоянной, независимо от температуры наружного воздуха. Очень важно, что применение лучистого отопления дает возможность **зонного обогрева**. При необходимости можно отапливать только ту зону, где непосредственно нужно тепло, а не весь цех. Создавая необходимый тепловой поток, можно обогревать открытые площадки, непосредственно рабочие места. **Эксплуатационные затраты** на обслуживание систем лучистого отопления значительно ниже, чем на системы традиционного отопления. После установки и наладки производят лишь периодический осмотр. Это означает, что затраты на ремонт и обслуживание, составляющие 3–5 % общих затрат на системы газового отопления, приведут к их общему снижению, т.к. при централизованной разводке теплоносителя эти затраты составляют 20–40 % от общих затрат этих систем, а они в 5–10 раз выше, чем при децентрализованном газовом отоплении.

Если просуммировать вышеназванные цифры достигаемого эффекта снижения затрат на отопление и подставить значения для конкретных помещений, то в результате получатся цифры минимум в 3–7 раз меньше существующих затрат.

Следует учитывать снижение вредных выбросов в атмосферу, что позволяет решить проблемы чистоты окружающей среды, т.к. горелки, используемые в системе лучистого отопления, работают в режиме оптимального сжигания газа, их КПД составляет 90–93 %, а вредные выбросы практически сведены к нулю.

При лучистом отоплении необходимо учитывать: направление движения теплового потока от отопительного прибора газового лучистого отопления до внутренних поверхностей ограждающих конструкций, а от них – к внутреннему воздуху за счет конвекции и наружу за счет теплопроводности этих конструкций; прямое излучение от прибора на человека и поверхности помещения; наличие вентиляции в помещении. Особенности направления лучистого потока не дают возможности использовать общий тепловой баланс помещения, который обычно заменяют на ряд тепловых балансов каждой ограждающей конструкции и воздуха. Прямое облучение человека определяет необходимость использования уравнения комфортного состояния человека в общей системе уравнений. При этом необходимость использования понятия расчетной «температуры помещения» и ее поддержания не является необходимой.

Все приведенные данные в процессе работы будут уточняться.

Выводы:

1. При выборе в качестве системы отопления здания системы с газовыми инфракрасными излучателями необходимо учитывать множество факторов: габариты помещения (соотношение высоты помещения к его размерам в плане); состояние ограждающих конструкций (их теплотехнические свойства); наличие вентиляции в помещении; требования к микроклимату здания и др.

2. Угол наклона горелки оказывает наибольшее влияние на мощность лучистого отопления. А для локального обогрева необходимо учитывать также соотношение отапливаемых и неотапливаемых площадей.

3. При использовании газового лучистого отопления температура наружных поверхностей ограждающих конструкций ниже, чем при традиционных системах отопления. Использование систем газового лучистого отопления уменьшает градиент температуры воздуха по высоте помещения в два раза, что позволяет снизить термическое сопротивление потолочных конструкций примерно до уровня термического сопротивления стен.

4. При проектировании крупногабаритных промышленных объектов предпочтение должно отдаваться системам отопления с газовыми инфракрасными излучателями, так как капитальные затраты на системы с газовым лучистым отоплением примерно на 25 % меньше, чем на системы с конвективным отоплением. Их преимущество над традиционными системами отопления конвективным способом очевидно.

5. При выборе типа системы отопления необходим подробный анализ всех составляющих проекта здания. Только после подробного рассмотрения всех преимуществ и недостатков того или иного типа системы отопления для проектируемого здания можно сделать наиболее оптимальный выбор.

Список литературы

1. Молька, В. «Три «Э» в отоплении промышленных предприятий» / В. Молька. – Словакия: Банска Быстрица, 2006. – С. 51–57.
2. СТО Газпром РД 1.2-137-2005. Рекомендации по проектированию систем газового лучистого отопления и газового воздушного отопления производственных и общественных зданий.
3. СТО НП «АВОК» 4.1.5-2006. Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями.

-
4. Шиванов, В.В. Обеспечение теплового режима производственных помещений системами газового лучистого отопления: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / В.В. Шиванов. – Н. Новгород, 2007. – 21 с.

References

1. Mulk, V. Three features in heating of industrial enterprises / V. Mulk. – Slovakia: Banská Bystrica, 2006. – P. 51–57.
2. STO Gazprom RD 1.2-137-2005. Recommendations for designing of systems of gas radiant heating and gas air heating of industrial and public buildings.
3. STO of NP «АВОК» 4.1.5-2006. Heating and heating with gas radiant heaters.
4. Shivanov, V.V. Thermal control of production facilities by systems of gas radiant heating: author. dis. ... candidate. tech. Sciences: 05.23.03 / V.V. Shivanov. – N. Novgorod, 2007. – 21 p.

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

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук, профессор
E-mail: ambereg@rambler.ru

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

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

Beregovoy Aleksandr Markovich,
Doctor of Sciences, Professor
E-mail: ambereg@rambler.ru

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

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ В РАСЧЕТЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

А.М. Береговой, М.А. Дерина

Рассматривается многокритериальная задача по теплотехническому расчету наружных ограждающих конструкций. Показывается целевая функция энергосбережения z_0 , решаемая с помощью ряда локальных критериев оптимальности (ЛКО), оптимизация каждого из которых требует определенных изменений в конструктивном решении наружных ограждений. В результате анализа этих решений и задачи по минимизации тепловых потерь помещений, основанной на экономайзерном эффекте, установлено, что оптимизация одного или нескольких ЛКО может радикальным образом изменить величину функции z_0 .

Ключевые слова: локальные критерии оптимальности, тепловые потери, наружные ограждающие конструкции, эффект энергосбережения

CHOICE OF OPTIMALITY CRITERIA IN CALCULATION OF HEAT LOSSES THROUGH EXTERNAL ENCLOSING STRUCTURES

A.M. Beregovoy, M.A. Derina

Multicriteria problem on thermal calculations of external enclosing structures is considered. The criterion function of energy saving is showed, which is solved with the help of a number of local optimality criteria (LCO), optimization of each of which requires certain changes in a constructive solution of outer enclosures. As a result of the analysis of these decisions and the problem of minimizing heat losses of apartments, based on the economizer effect, it was ascertained that optimization of one or more of LCO can radically transform the value of criterion function.

Keywords: local optimality criteria, heat losses, external enclosing structures, energy-saving effect

Введение. Как известно, здание в целом представляет собой сложную систему с многочисленными внутренними связями, трудно поддающимися описанию [1]. Использование системного подхода при исследовании всей совокупности действующих факторов в этой системе позволяет значительно повысить эффективность инновационного проекта. Если рассматривать здание как единую энергетическую и экологическую систему (ЕЭЭС), то основной критерий ее высокой эффективности, являющийся главным системообразующим фактором, заключается в обеспеченности ее функционирования с наименьшими энергетическими затратами при поддержании комфортных, экологически безопасных условий микроклимата помещений.

Для упомянутой системы ЕЭЭС сложную целевую функцию можно представить так [2–4]:

$$Z = f(z_1(k_1, \dots, k_n), \dots, z_m(k_1, \dots, k_n)) \quad (1)$$

при соблюдении условий $g_i(k_1, \dots, k_n)$, под которыми подразумеваются общепринятые требования к зданию или его конструкциям (долговечность, прочность, пожаробезопасность, экологичность, экономичность, энергоактивность и др.), где z_1, \dots, z_m – целевые функции подсистем «Состав, технология изготовления, структура материалов, свойства материалов», «Ограждающие конструкции», «Здание», «Группа зданий», соответствующие типу сооружения, его конструктивной схеме, климатическим и региональным условиям места строительства.

Целевую функцию подсистемы «Ограждающие конструкции» ЕЭЭС здания можно выразить следующей зависимостью:

$$z_0 = f(k_1, \dots, k_n), \quad (2)$$

где k_1, \dots, k_n – локальные критерии оптимальности (ЛКО), в число которых входят: $k_{кс}$ – конструктивная схема ограждения; k_r – геометрические параметры; $k_{ст}$ – сопротивление теплопередаче (R_0); k_Q – теплоемкость по глубине слоя конструкции с положительной температурой; $k_{св}$ – сопротивление воздухопроницанию ($R_{п}$); $k_{сп}$ – сопротивление паропроницанию ($R_{п}$); $k_{тy}$ – тепловая устойчивость (A_t), а также другие ЛКО, которые упомянуты выше в виде условий g_i .

Если рассматривать теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций, изложенный в [5], как многокритериальную задачу, то ее целевая функция решается с учетом всех вышеперечисленных ЛКО с помощью уравнений по определению расчетных величин локальных критериев, которые должны соответствовать их нормативным значениям. При этом оптимизация каждого из этих критериев, как правило, требует анализа конструктивных решений в конкретных условиях эксплуатации или принятия ряда допущений при рассмотрении физических процессов тепло-массообмена через толщу наружного ограждения. Так, оптимизация критерия $k_{сп}$ ($R_{п}$) в условиях влажного или мокрого режимов эксплуатации вызывает необходимость оптимизации критерия $k_{кс}$, которая заключается в устройстве более плотного конструктивного слоя с внутренней стороны наружного ограждения или специального пароизоляционного слоя, примыкающего к теплоизоляционному материалу.

При решении частных задач строительной теплофизики важно определить тот узкий круг критериев ЛКО, оптимизация которых может радикальным образом изменить величину целевой функции z_0 в зависимости от конструктивного решения наружного ограждения и условий эксплуатации здания. В некоторых случаях величину z_0 , близкую к оптимальному значению, можно найти путем оптимизации одного или нескольких ЛКО. С этой целью рассмотрим особенности конструктивных решений некоторых типов наружных ограждений и теплотехнические показатели использованного материала.

В капитальном строительстве большое распространение получили конструкции наружных стен в виде однослойных и трехслойных панелей (рис.1, конструктивные схемы 1, 2, 4). Для конструкции по схеме 4, так же, как и для трехслойных ограждений со средним слоем из эффективного утеплителя, можно значительно повысить целевую функцию энергосбережения z_0 путем увеличения одного критерия $k_{ст}$ (R_0) без существенных затрат материально-технических ресурсов только за счет небольшого увеличения толщины этого утеплителя. Для показанных на схемах 1–3 конструкций этот подход малоэффективен, поскольку для утепления в них использован относительно теплопроводный материал.

При решении отдельных задач строительной теплофизики целевая функция z_0 может быть предназначена для формирования комфортного теплового режима помещения, зависящего от критерия оптимальности k_Q . Тогда бы ей соответствовали последние упомянутые типы наружных ограждений, которые могут многократно превосходить по величине теплоемкости прогретого слоя $Q_{акк}$ другие конструкции с боль-

шим объемом эффективного утеплителя и за счет этого выравнять амплитуду колебаний температуры внутреннего воздуха (см. рис. 1).

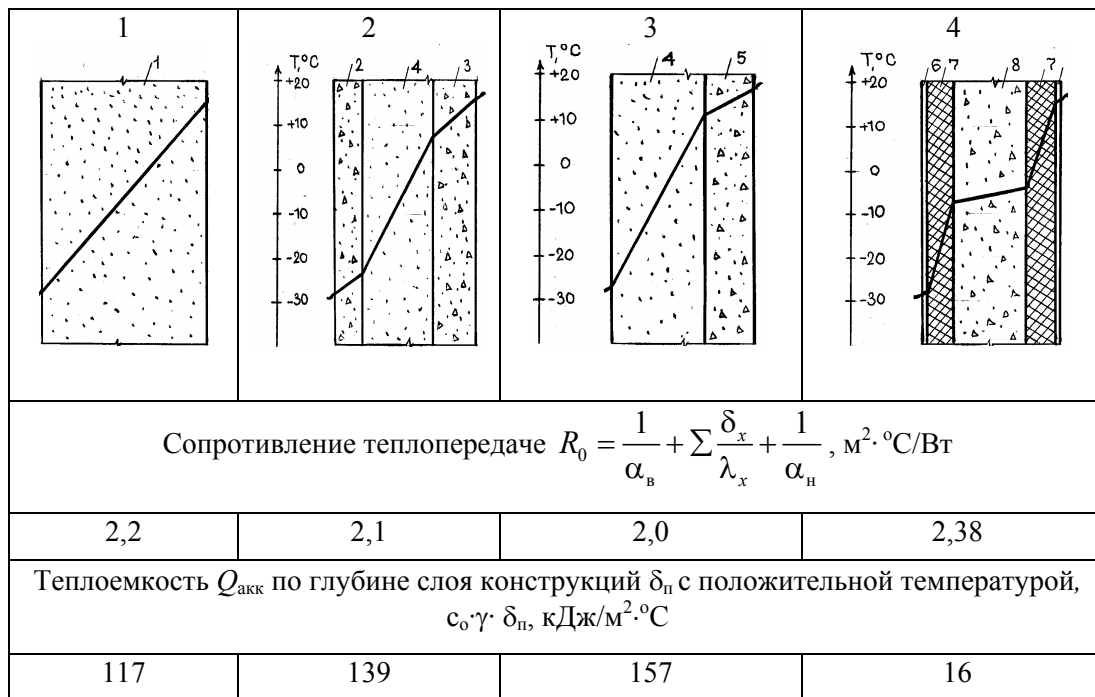


Рис. 1. Конструктивные схемы наружных ограждающих конструкций:

- 1 – ячеистый бетон, $\delta = 450$ мм; $\gamma = 600$ кг/м³;
- 2, 3 – керамзитобетон, $\delta = 80$ мм и 120 мм, $\gamma = 1200$ кг/м³;
- 4 – ячеистый бетон, $\delta = 200$ мм, $\gamma = 300$ кг/м³;
- 5 – тяжелый композит, $\delta = 120$ мм, $\gamma = 4000$ кг/м³;
- 6 – цементно-песчаная штукатурка, $\delta = 30$ мм, $\gamma = 1700$ кг/м³;
- 7 – пенополистирол, $\delta = 60$ мм, $\gamma = 40$ кг/м³;
- 8 – керамзитобетон, $\delta = 180$ мм, $\gamma = 1800$ кг/м³;
- 9 – листы гипсовые обшивочные, $\delta = 20$ мм, $\gamma = 800$ кг/м³

Анализ рассмотренной в [6] задачи по минимизации тепловых потерь помещений позволяет сделать вывод, что оптимизация двух локальных критериев обеспечивает существенный эффект энергосбережения. В наружной ограждающей конструкции, имеющей пористую структуру и небольшое значение критерия $k_{\text{св}}$, показывающего сопротивление воздухопроницанию конструкции ($R_{\text{и}}$), может возникнуть экономайзерный эффект, при котором часть трансмиссионного тепла помещения передается встречному воздушному потоку воздуха в процессе его инфильтрации. Подогретый таким образом воздух проникает в помещение, что позволяет уменьшить объем холодного вентиляционного воздуха, поступающего в помещение через приточное отверстие, и расход тепла на его подогрев. Как известно, процесс инфильтрации (молярного переноса) воздуха через наружное ограждение усиливается в нижних этажах из-за гравитационного давления за счет разности температур по высоте здания, а также с его наветренной стороны. Влияние данных критериев на величину тепловых потерь здания обусловлено следующими их зависимостями с рядом теплоэнергетических параметров.

В первой из них рассматриваемый критерий $k_{\text{св}}$ выражен в виде $\sum R_{\text{и}}$ – суммы сопротивлений воздухопроницанию слоев ограждения, м²·ч·Па / кг,

$$w_{\text{инф}} = \Delta P / \sum R_{\text{и}}, \tag{3}$$

где $w_{\text{инф}}$ – количество инфильтрующегося воздуха, кг/м²·ч; ΔP – разность давлений воздуха с внешней и внутренней стороны ограждения, Па.

Во второй зависимости критерий k_r , выраженный параметром H (расстояние по высоте здания от середины этажа до нейтральной зоны, м), связан с параметром ΔP следующим образом:

$$\Delta P = -0,8 \cdot \left[-g \cdot (\gamma_n - \gamma_b) \cdot H - 0,6 \frac{(0,6 \cdot v)^2 \cdot \gamma_n}{2} \right], \quad (4)$$

где v – расчетная скорость ветра, м/с.

Величина $w_{инф}$ влияет как на тепловой поток q_b , поступающий к внутренней поверхности ограждения при инфильтрации:

$$q_u = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_b \cdot w \cdot R}}{e^{c_b \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n), \quad (5)$$

так и на количество тепла, которое затрачивается на подогрев наружного холодного воздуха, поступающего в помещение в процессе его естественной вентиляции

$$Q_{вент} = 0,28 \cdot w_{вент} \cdot \gamma_n \cdot c_b \cdot (t_b - t_n) \quad (6)$$

В рассматриваемой задаче по оценке эффективности функции z_0 целью оптимизации критерия $k_{св}$ является выбор наружных ограждающих конструкций с относительно небольшим сопротивлением воздухопроницанию $\Sigma R_{и}$. Для таких конструкций наилучшим образом подходят крупнопористые неорганические материалы, имеющие в структуре сквозные поры. Результаты расчетов выявили непосредственную зависимость эффекта энергосбережения от величины данного критерия. В таблице данный эффект показан на примере помещений первого этажа 12-этажного здания, в которых он достигает наибольшего значения.

Эффект энергосбережения в процессе инфильтрации воздуха через стены различной конструкции при экономайзерном эффекте

Конструкция наружной стены	Значение критерия $k_{св}$ ($\Sigma R_{и}$ (м ² · ч · Па / кг))	Эффект энергосбережения, %
Крупнопористый керамзито-бетон плотностью 900 кг/ м ³ с внутренним отделочным слоем из листов сухой штукатурки, установленных с заделкой швов.	35,0	10,3
То же, плотностью 1100кг/ м ³	490,0	1,0
Кирпичная кладка плотностью 1700 кг/м ³ на цементно-шлаковом растворе с тем же внутренним отделочным слоем	29,0	13,0
1-слойная стена из шлако-пем-зобетона	20,3	18,0

Оптимизация критерия k_r по высоте зданий показала, что наибольшего значения экономайзерный и энергосберегающий эффекты достигают в зданиях повышенной этажности за счет роста параметров ΔP и $w_{инф}$. Так, в помещениях первого этажа с ограждениями из керамзитобетона плотностью 900 кг/ м³ эффект энергосбережения составляет в 2-этажном здании 3,4 %, а в 12-этажном – 10,3 %.

Выводы.

Оптимизация одного или нескольких локальных критериев может радикальным образом изменить величину целевых функций энергосбережения и формирования комфортного теплового режима помещений.

При выборе конструктивного решения наружного ограждения к таким рекомендуемым критериям относятся соответственно $k_{ст}$ и k_{Q} , характеризующие сопротивление теплопередаче и теплоемкость слоя конструкции с положительной температурой, а в решении задачи по уменьшению тепловых потерь помещения – критерии $k_{св}$ и $k_{г}$, связанные с воздухопроницаемостью конструкции наружной стены и геометрическими параметрами здания.

Список литературы

1. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
2. Гарькина, И.А. Системный анализ, теории индентификации и управления в строительном материаловедении: моногр./ И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Ю.А. Соколова. – М.: Изд-во «Палеотип», 2008. – 240 с.
3. Береговой, А.М. Показатели эффективности в системном анализе теплопотерь через энергосберегающие наружные ограждения / А.М. Береговой, О.Л. Викторова, В.А. Береговой // Изв. вузов. Строительство. – 2009. – № 5. – С. 57– 61.
4. Береговой, А.М. Экологические параметры в архитектурно–строительном проектировании здания как единой энергетической и экологической системы / А.М., Береговой М.А. Дерина, А.С. Щеглова //Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: www.science-education.ru/121-18447 (дата обращения 09.04.2015).
5. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003. – М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 95 с.
6. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С. 140–144.

References

1. Tabunschikov, Y.A. Mathematical modeling and optimization of thermal performance of buildings / Y.A. Tabunschikov, M.M. Brodach. – M.: AVOK-PRESS, 2002. – 194 p.
2. Garkina, I.A. System analysis theories of identification and management in building materials conducting: monograph / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Yu.A. Socolova. – M.: Publ. House «Paleotip», 2008.–240 p.
3. Beregovoy, A.M. Performance indicators in the system analysis of heat losses through exterior enclosure structures / A.M. Beregovoy, O.L. Viktorova, V.A. Beregovoy // News of higher educational institutions. – 2007. – No. 5. – P. 57–64.
4. Beregovoy, A.M. Ecological parameters in architecture and construction design of building as united energy and ecological system / A.M. Beregovoy, M.A. Derina, A.S. Shcheglova // Modern problems of science and education. – 2015. – №1. – URL: www.science-education.ru/121-18447 (date of access 09.04.2015).
5. SP. Thermal protection of buildings. Actualized edition of SNiP 23-02-2003.– M.: NIISF RAASN, 2012. – 95 p.
6. The effect of energy saving in room with natural ventilation in terms of air infiltration through exterior wall /A.M. Beregovoy, A.V. Maltsev, M.A. Derina, A.V. Grechishkin // Regional architecture and engineering. – 2013. – №3. – P. 140–144.

УДК: 662.9

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург,
2-я Красноармейская ул., д.4,
тел. (812) 575-05-34;
факс: (812) 316-58-72, 316-49-06

Бируля Виктор Борисович,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: viktor-inf@yandex.ru

Saint-Petersburg State University of
Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, Saint-Petersburg, 4,
2nd Krasnoarmeiskaya St.,
tel.: (812) 575-05-34;
fax: (812) 316-58-72, 316-49-06

Birulia Viktor Borisovich,
Postgraduate student of the department «Heat
gas supply and ventilation»
E-mail: viktor-inf@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ

В.Б. Бируля

Приведены результаты внедрения системы газоснабжения конвейерных линий по производству керамической плитки. Представлены разработанные технологии, включающие организацию системы внутренней рециркуляции продуктов сгорания, а также результаты исследования влияния разработок на экономию газового топлива, уменьшение количества брака и улучшение санитарно-гигиенических условий труда при производстве керамических изделий.

Ключевые слова: производство керамической плитки, конвейерные линии, газоснабжение, оптимизация режимов, туннельная печь, энергоэффективность

OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF GAS SUPPLY SYSTEM OF TUNNEL KILNS FOR PRODUCTION OF BUILDING CERAMIC

V.B. Birulia

The results of the implementation of the system of gas supply are given. The developed technologies, including organizing the system of internal recirculation of combustion products are presented. The results of studies of the influence on the development of gas fuel economy decrease in quantity of waster and the improvement of sanitary-and-hygienic conditions of work in the production of ceramic products.

Keywords: production of building ceramic, system tunnel kilns, gas supply, optimization of operating modes, tunnel kiln, energy efficiency

В настоящее время остро стоит задача разработки и внедрения способов улучшения сушки и обжига керамических изделий, которые позволят добиться экономии топлива, повысить качество изделий, производительность агрегатов, сократить численность обслуживающего персонала и улучшить условия труда.

Тепловая обработка сырьевых материалов является наиболее топливоемким процессом. Сложность определения оптимальных расходов природного газа связана с большими перепадами температур обжига по длине печи и задачей их равномерного распределения в зоне обжига изделия.

В результате проведённой научно-исследовательской работы была разработана и внедрена инновационная технология эффективного использования природного газа. Сущность технологии заключается в комплексной модернизации конвейерной линии (КЛ) по производству напольной керамической плитки.

Необходимый режим, обеспечивающий тепловую обработку изделий, задается графиком распределения температур (рис. 1). Отходящие газы двигаются из высоко-

температурной зоны печи непосредственно внутри её объёма к низкотемпературным зонам. Благодаря разрежению вторичный воздух попадает в зону обжига уже нагретым из зоны охлаждения. В ходе рециркуляции газов происходит снижение их температуры. При этом достигается весьма ощутимая экономия газового топлива, а также снижается объем отводимых газов и их температура.

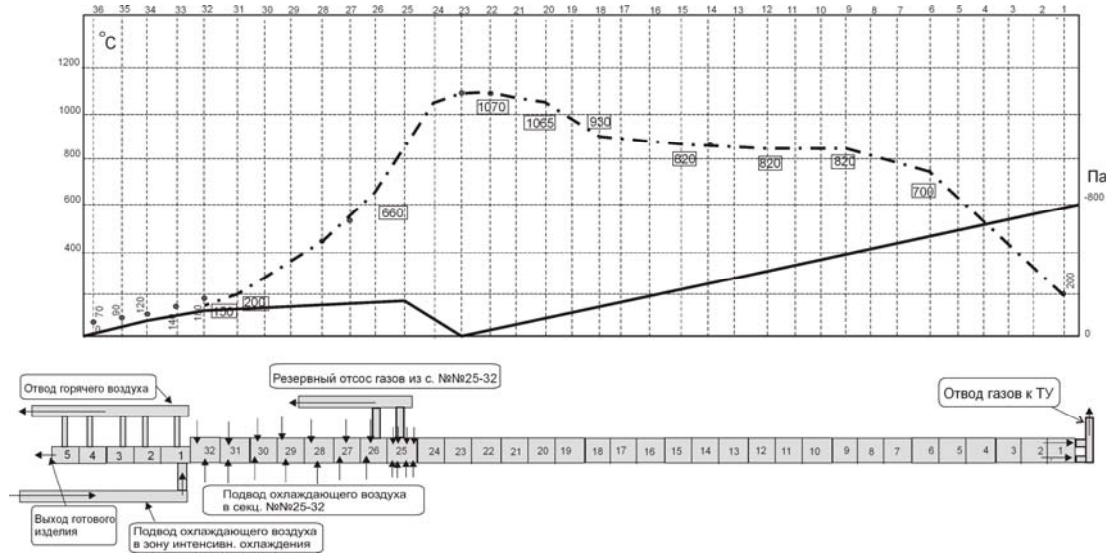


Рис. 1. Температурный график печи модернизированной КЛ:
 - · - · - - температурный график, °С;
 — — — график разрежения, Па

Все секции конвейерной линии разбиты на 15 контуров регулирования (рис. 2), каждый контур состоит из одного МЭО (механизм электрический однооборотный), связанного механически с регулируемой заслонкой КР-160 (аналог ЗМС), непосредственно управляющей давлением газа перед горелками контура, и ПИД-регулятора.

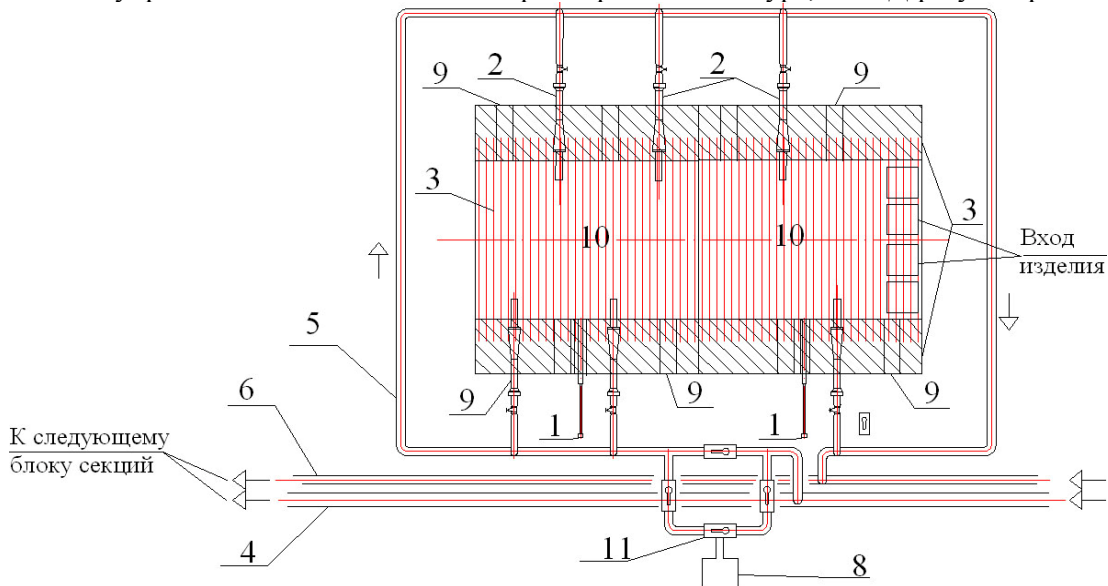


Рис. 2. Контур регулирования №5 КЛ №8:

- 1 – термопара ТХА-0192-Т; 2 – горелка В-32; 3 – ось транспортирующего ролика;
- 4 – подающий газопровод Г1П D50; 5 – газопровод кольца регулирования Г2П D32;
- 6 – продувочный газопровод Гпр D25; 8 – регулировочный клапан КР-160 с МЭО;
- 9 – люк для очистки пода; 10 – секция печи; 11 – кран ГШК 32-2,5; 12 – боковая стенка секции

Контуры регулирования являются интервалами последовательных физико-химических процессов обжига керамики. На каждом интервале определяется максимально допустимый градиент температур v [1], $^{\circ}\text{C}/\text{ч}$:

$$v = dt/d\tau = (t' - t'') / \tau, \quad (1)$$

где t' , t'' – температура в конце и начале интервала, $^{\circ}\text{C}$, τ – период времени пребывания изделия на участке, ч.

Крайне важным является обеспечение максимально допустимого градиента на каждом интервале, так как чем больше градиент (без потери качества), тем интенсивнее работает печь и ниже себестоимость продукции, больше продукции с 1 м^3 рабочего объема печи.

Длину участка регулирования (количество секций в контуре) можно определить по формуле

$$l_i = (t' - t'') / (v \cdot \tau). \quad (2)$$

Зная температуру в начале и в конце участка и максимально допустимый градиент нагрева, можно определить продолжительность нагрева. На участке нагрева

$$\tau = (t' - t'') \cdot k / v, \quad (3)$$

на участке выдержки изделий

$$\tau = 0,08 \cdot \delta^2 \cdot k, \quad (4)$$

где δ – толщина изделия; k – коэффициент перехода от экспериментальных данных к промышленной печи (для туннельной $k=4$).

Основным параметром получения качественного изделия является контроль теплового потока и его регулирование [2]. Контроль теплового потока осуществляется по температуре. Связь между создаваемой температурой и тепловыделением в объеме секции печи находится из уравнения теплового баланса (5).

$$\begin{aligned} & V_{\text{пг}i} t_{\text{пг}i} c_{\text{пг}i} + V_{\text{пг}(i-1)} t_{\text{пг}(i-1)} c_{\text{пг}(i-1)} + G_{\text{м}} t_{\text{м}i+1} c_{\text{м}i+1} = \\ & = Q_{5i} + G_{\text{м}} t_{\text{м}i} c_{\text{м}i} + V_{\text{пг}(i-1)} t_{\text{см}i} c_{\text{пг}i} + V_{\text{пг}i} t_{\text{см}i} c_{\text{пг}i}, \\ & V_{\text{г}i} t_{\text{г}i} c_{\text{г}i} + \alpha_i V_{\text{г}i} V_{\text{в}} t_{\text{в}} c_{\text{в}} + Q_{\text{нр}} V_{\text{г}i} \eta_{\text{кит}} + V_{\text{пг}(i-1)} t_{\text{пг}(i-1)} c_{\text{пг}(i-1)} + G_{\text{м}} t_{\text{м}i+1} c_{\text{м}i+1} = \\ & = Q_{5i} + G_{\text{м}} t_{\text{м}i} c_{\text{м}i} + V_{\text{пг}(i-1)} t_{\text{см}i} c_{\text{пг}i} + V_{\text{пг}i} t_{\text{см}i} c_{\text{пг}i}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $Q_{\text{нр}}$ – низшая теплота сгорания газа, $\text{кДж}/\text{м}^3$; Q_{5i} – теплопотери через наружное ограждение, кВт ; t_i – температура продуктов сгорания согласно технологическому процессу, $^{\circ}\text{C}$; i – порядковый номер секции, по направлению движения газов; $c_{\text{р}}$ – средняя объемная теплоемкость газов, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; пг – рециркулирующие газы; пг – продукты горения; V_0 – теоретический объем газов, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $\alpha_{\text{п}}$ – средний избыток воздуха в объеме печи.

Необходимый температурный режим создается за счет регулирования расхода газа. Причем расход газа предварительно определяется по уравнению (5) для дальнейшего регулирования горелочных устройств. Используемые инжекционные горелки автоматически поддерживают заданное соотношение между газом и воздухом при различных режимах работы без применения автоматики пропорционирования. Причем необходимый газовый окислительный состав продуктов сгорания достигается за счет создания разрежения и дополнительного регулируемого воздуха, поступающего в активный объем печи.

Используя уравнение для теплоотдающей среды, полученное А. А. Неструве [1], и учитывая граничные условия в пределах от $t_{\text{печ}}=t'$ до $t_{\text{печ}}=t''$ и $x=0$ до $x=l$, получим перепад температур

$$\Delta t_{\text{печ}} = t' - t'' = q_{\text{кл}} \cdot F_{\text{кл}} / (c_{\text{см}} \cdot V_{\text{г}}) + q_{\text{м}} \cdot F_{\text{м}} / (c_{\text{см}} \cdot V_{\text{г}}). \quad (6)$$

Таким образом, учитывая, что перепад температур $\Delta t_{\text{печ}} = \Delta t_{\text{кл}} + \Delta t_{\text{м}}$, плотность теплового потока $q_{\text{м}}(\Delta t_{\text{м}})$ (определяется критерием Фурье $F_0 = a\tau/S^2$) и кратность рециркуляции $n = V_{\text{см}}/V_{\text{г}}$ (во сколько раз количество газов, участвующих в теплообмене, больше количества газов, поступающих от сжигания топлива в секции печи), получим

$$\Delta t_{\text{печ}} \approx \Delta t_{\text{печ.х}} \approx q_{\text{кл}} \cdot F_{\text{кл}} / (c_{\text{см}} \cdot V_{\text{г}}). \quad (7)$$

Относительный перепад температур

$$\Delta_{\text{печ}} = \Delta t_{\text{печ}} / \Delta t_{\text{печ.х}} = (1 + q_{\text{м}} \cdot F_{\text{м}} / (q_{\text{кл}} \cdot F_{\text{кл}})) / n. \quad (8)$$

Полученная зависимость $\Delta_{\text{печ}}(n)$ показывает, что для каждой секции печи может быть найдена оптимальная кратность рециркуляции, при которой достигается изотермичность греющих газов и соответственно минимальный расход топлива.

На рис. 3 показаны расчетные графики оптимального расхода топлива по секциям туннельной печи.

На конвейерной линии устанавливается 41 термopара, по одной в каждой секции печи и сушил, с их расположением над роликовым поясом линии. В обжиговых секциях со сверхвысокими температурами (свыше 1000 °C) установлены 5 ТПП (термопреобразователь «платина-платина»), в остальных секциях – 36 ТХА (термопреобразователь «хром-алюмель») и одна – измеряющая температуру отработанных газов.

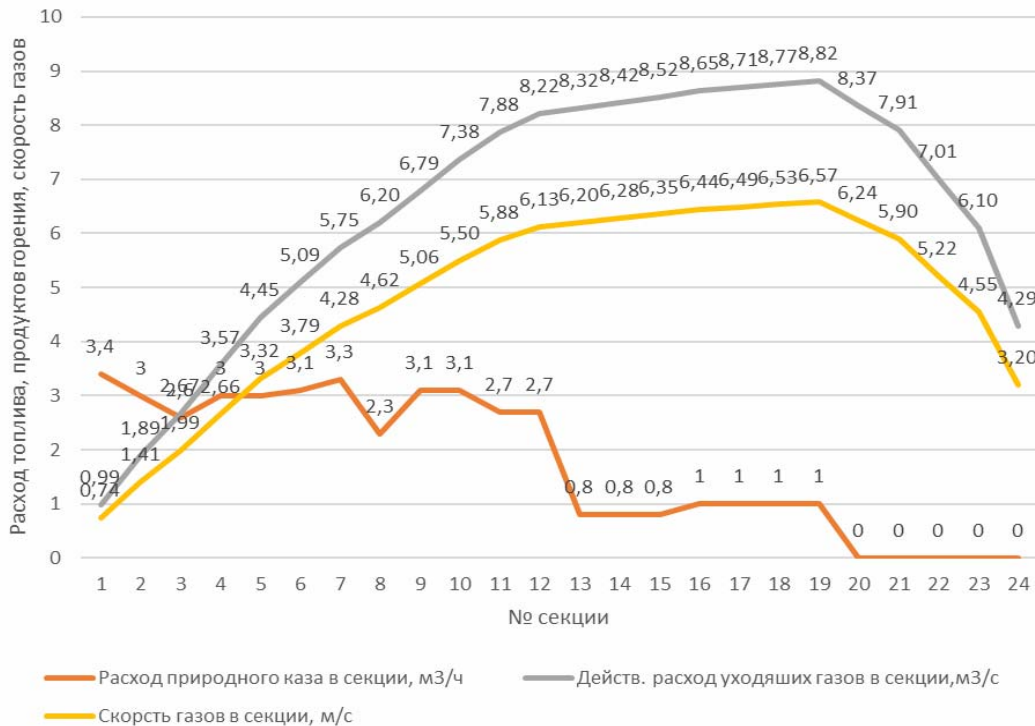


Рис. 3. Функциональная схема автоматики регулирования процессов сушки и обжига

Пример состоящего из двух секций контура регулирования (контур регулирования №5) конвейерной линии №8 показан на рис. 2. На вход регулятора подключается термopара, называемая управляющей, остальные термopары секций, входящих в состав контура управления, подключаются к ПИД-регуляторам, выполняющим роль измерителей температуры и передающим данные в диспетчерский компьютер, тем самым отображая температурный режим всего контура регулирования. Контроль отклонения температуры в одной секции позволяет поддерживать режим всего контура, т.к. в пределах контура температурная кривая не имеет существенных изменений и расходы газа по секциям равны.

В таблице приведены сравнительные данные по экономии топлива при использовании в ограждающих конструкциях секций КЛ с повышенным термическим сопротивлением 2,2–2,6 (м²·град)/Вт. Из таблицы видно, что конструкция секции печи КЛ с применением блоков повышенного термического сопротивления обеспечивает экономию 40–50 % топлива в результате снижения потерь в окружающую среду (q_s).

Показатели	Конвейерные линии (КЛ)		
	Туннельная традиционная	Роликовая проектная	Роликовая модернизированная
Удельный расход условного топлива на годовую продукцию, кг/т* или кг/м ²	160*	3,4	1,95
Потери в окружающую среду, % от расхода топлива	15,7	14,8	8,2
Экономия топлива по сравнению с проектной изоляцией, %	-	-	44

После завершения монтажных и пусконаладочных работ были проведены фактические измерения технико-экономических показателей [2]. Фактическое удельное снижение расхода топлива составило 33 % по отношению к проектному (ПКБ «НИИстройкерамика»), что дало экономию природного газа 393 тыс. м³/год. Удельные нормы расхода условного топлива на выработку 1 м² продукции соответственно снизились на 1,01 кг/м² готовой продукции.

Выводы:

1. Предложена инновационная технология модернизации конвейерной линии по производству напольной керамической плитки, основанная на рециркуляции отходящих газов.

2. В результате теоретических и экспериментальных исследований получен алгоритм расчета оптимального режима тепловой обработки керамических изделий.

3. Конструкция секции печи КЛ с применением блоков повышенного термического сопротивления обеспечивает экономию 40–50 % топлива в результате снижения потерь в окружающую среду (q_s).

Список литературы

1. Воликов, А.Н. Энергоэффективность модульной конструкции роликовой печи для производства керамической плитки / А.Н. Воликов, В.Б. Бируля // Вестник гражданских инженеров. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – №5(34). – С. 155–158.

2. Бируля, В.Б. Роль комплексной автоматизации в повышении энергоэффективности туннельных печей по производству стройкерамики / В.Б. Бируля, А.Н. Воликов // Газ-информ. – СПб., 2009. – №2(12). – С. 92–96.

References

1. Volikov A.N. Energy efficiency of a modular design of a roller kiln for the production of ceramic tiles / A.N. Volikov, V.B. Birulja // Bulletin of civil engineers. – SPb.: SPbGASU, 2012. – №5(34). – P. 155–158.

2. Birulja, V.B. The role of integrated automation in improving energy efficiency of tunnel kilns for the production of building ceramic / V.B. Birulja, A.N. Volikov // Gas-inform. – SPb., 2009. – №2(12). – P. 92–96.

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Князев Владимир Александрович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»

Кочергин Александр Сергеевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»,
декан факультета инженерной экологии

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Sciences, Professor
of the department «Water supply, sewerage
and hydraulic engineering»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Knyazev Vladimir Aleksandrovich,
Postgraduate student of the department
«Water supply, sewerage and hydraulic
engineering»

Kochergin Aleksandr Sergeevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Water supply, sewerage
and hydraulic engineering», Dean
of the Faculty of Environmental Engineering

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РАБОТЫ ЭРЛИФТНЫХ УСТРОЙСТВ

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев, А.С. Кочергин

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований перемешивающих и перекачивающих эрлифтных устройств, выполненных на основе анализа баланса удельных массовых энергий. Получено уравнение, позволяющее определять величину относительного расхода перекачивающего эрлифта. Использование полученного уравнения позволит оптимизировать параметры работы перекачивающих эрлифтных устройств.

Ключевые слова: эрлифтное устройство, водовоздушная смесь, коэффициент газонаполнения, коэффициент погружения, диспергированная газовая фаза, относительный расход

THEORETICAL BASIS OF CALCULATION OF AIRLIFT DEVICES

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev, A.S. Kochergin

The results of theoretical and experimental studies of mixing and pumping air-lift devices based on the analysis of the specific energy of their masses are given. The equation allows to determine the magnitude of the relative pumping flow airlift. The use of this equation will optimize the pumping parameters of air-lift disorders.

Keywords: air-lift device, water and air mixture, gas filling factor, immersion factor, dispersed gas phase, relative consumption

В процессе подачи в объем жидкости воздуха образуется водовоздушная смесь, которую принято в литературных источниках называть диспергированной газовой фазой (ДГФ). Эффект создания диспергированной газовой фазы лежит в основе работы перекачивающих эрлифтных (газлифтных) установок. Эрлифтные установки, являющиеся воздушными водоподъемниками, нашли широкое применение в системах водоснабжения и очистки сточных вод для откачивания воды из скважин и перека-

чивания возвратного или из вторичных отстойников станций биологической очистки сточных вод. Эрлифтный эффект, возникающий в аэрационном бассейне азротенков, создает условия для перемешивания иловой смеси и поддержания циркуляционной скорости в придонной области, обеспечивающей взвешивание активного ила.

Перемешивающее эрлифтное устройство, работающее в динамическом режиме, представляет собой диспергирующее воздух устройство (барботер) 5, погруженное в объем перемешиваемой жидкости, к которому присоединен трубопровод сжатого воздуха (рис. 1, а). Пузырьки газа (воздуха), попадая в жидкость, образуют над барботером газожидкостный факел, называемый ядром струи. Движение ядра струи происходит вследствие разностей плотностей перемешиваемой жидкости и водовоздушной смеси, образующейся над барботером. Внешняя часть потока состоит из жидкости, которая вовлекается (эжектируется) в движущееся ядро. Скорость движения газовой фазы в ядре струи равна сумме скоростей движения жидкой части ядра струи и скорости всплывания пузырьков воздуха относительно жидкости, обусловленного действием архимедовой силы. В ядре струи сосредоточены практически все всплывающие пузырьки газа. Оно движется с максимальной скоростью и имеет форму конуса с углом раскрытия около $10\text{--}12^\circ$. Скорость движения ядра, а следовательно, и всей увлекаемой им струи, возрастает с увеличением глубины слоя аэрируемой жидкости и зависит от нее в гораздо большей степени, чем от расхода воздуха.

Принципиальная схема перекачивающего эрлифтного устройства представлена на рис. 1, б.

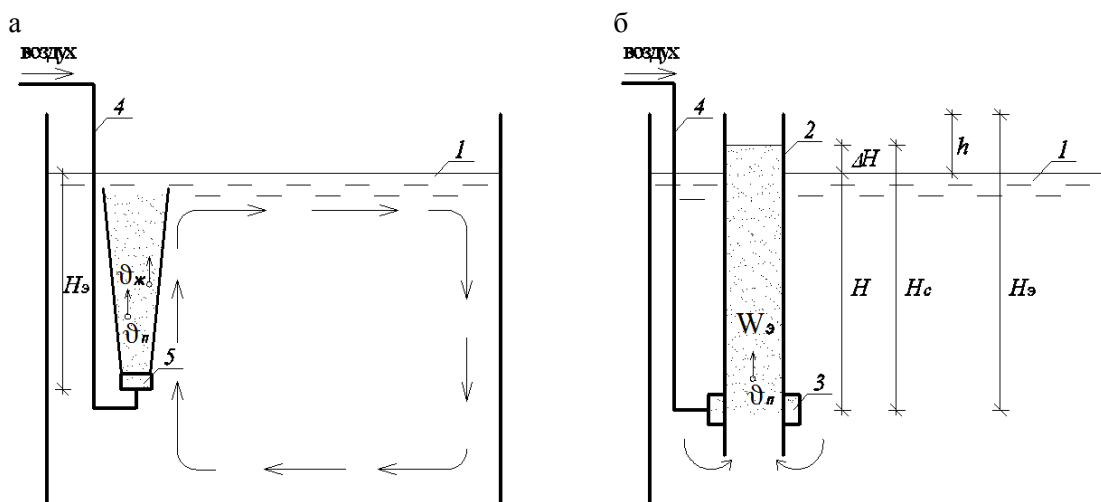


Рис. 1. Принципиальные схемы эрлифтного устройства:

а – перекачивающего; б – перемешивающего;

1 – объем перекачиваемой (перемешиваемой) жидкости; 2 – водоподъемная труба (ствол эрлифта); 3 – смеситель; 4 – воздуховод; 5 – диспергирующее устройство (барботер)

В объеме перекачиваемой жидкости 1 размещается водоподъемная труба (ствол эрлифта) 2. В смеситель 3, представляющий собой участок перфорированной трубы, плотно опоясанный кожухом, по воздуховоду 4 подается сжатый воздух. Через отверстия смесителя 3 сжатый воздух поступает в водоподъемную трубу 2, в результате чего образуется водовоздушная смесь. Пузырьки воздуха водовоздушной смеси всплывают на поверхность со скоростью v_n . Плотность создаваемой внутри водоподъемной трубы водовоздушной смеси $\rho_{см}$ меньше плотности находящейся снаружи воды ρ .

В соответствии с законом распределения гидростатического давления в сообщающихся сосудах давление столба воды H на уровне смесителя будет уравниваться большей высотой столба водовоздушной смеси $H_c = H + \Delta H$.

Под действием разности гидростатических давлений вне и внутри водоподъемной трубы уровень водовоздушной смеси поднимется на высоту ΔH .

Из равенства гидростатических давлений имеем

$$H_p = (H + \Delta H)\rho_{см}, \quad (1)$$

откуда высота подъема смеси

$$\Delta H = H \frac{\rho - \rho_{см}}{\rho_{см}}. \quad (2)$$

При высоте подъема водовоздушной смеси ΔH , имеющей меньшее значение, чем высота эрлифтной трубы над уровнем жидкости h , внутри водоподъемной трубы относительно ее стенок будут двигаться лишь пузырьки воздуха. Эрлифтное устройство будет работать в режиме статического перемешивания эрлифтного объема $W_э$, при котором пузырьки воздуха будут всплывать со средней скоростью v_p , м/с.

Важной характеристикой водовоздушной смеси, находящейся внутри водоподъемной трубы, является величина ее газонаполнения (коэффициента газонаполнения). Этот параметр принято оценивать в объемных долях

$$\varphi = \frac{W_r}{W_э} = \frac{W_r}{W_г + W_ж}, \quad (3)$$

где $W_э$, W_r , $W_ж$ – соответственно объемы эрлифтной зоны, газовой и жидкой фазы, м³.

С учетом

$$W_э = H_c \cdot F; \quad W_ж = H \cdot F; \quad W_r = \Delta H \cdot F,$$

где F – площадь поперечного сечения водоподъемной трубы, м²; H_c , H и ΔH – соответственно высота слоя водовоздушной над смесительным устройством; высота слоя воды над смесительным устройством; высота подъема уровня водовоздушной смеси над уровнем воды, можно записать

$$\varphi = \frac{\Delta h \cdot F}{H_c \cdot F} = \frac{\Delta H}{H_c} = \frac{\Delta H}{H + \Delta H}. \quad (4)$$

Значение величины коэффициента газонаполнения φ определяет величину плотности водовоздушной смеси в эрлифтной зоне, которая с достаточной точностью может быть рассчитана по правилу аддитивности:

$$\rho_{см} = \rho_ж (1 - \varphi) + \rho_г \cdot \varphi. \quad (5)$$

Поскольку $\rho_ж \gg \rho_г$, то можно записать

$$\varphi \approx \frac{\rho_ж - \rho_г}{\rho_ж}. \quad (6)$$

Величина коэффициента газонаполнения водовоздушной смеси φ и высота ее подъема ΔH над уровнем жидкости будут определяться величиной приведенной скорости подачи газовой фазы (интенсивности аэрации) I . Приведенной скоростью подачи газовой фазы I называется отношение расхода подаваемого в эрлифтную зону воздуха Q_r , м³/с, к площади поперечного сечения водоподъемной трубы F , м²:

$$I = \frac{Q_r}{F}, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}, \text{ м/с}. \quad (7)$$

Время пребывания газовой фазы в эрлифтной зоне можно определить как

$$T_r = \frac{W_r}{Q_r} = \frac{\varphi \cdot W_э}{I \cdot F_э} = \frac{\varphi \cdot F_э \cdot H_c}{I \cdot F_э} = \frac{\varphi \cdot H_c}{I} = \frac{\Delta H}{I}, \text{ с}. \quad (8)$$

С другой стороны, время пребывания газовой фазы эрлифтной зоны определяется продолжительностью всплывания пузырька воздуха.

$$T_r = \frac{H_c}{v_n}, \text{ с.} \quad (9)$$

Из (8) и (9) имеем:

$$\frac{H_c}{v_n} = \frac{\varphi \cdot H_c}{I} = \frac{\Delta H_c}{I};$$

$$\varphi = \frac{I}{v_n} = \frac{\Delta H_c}{H_c} = \frac{\Delta H_c}{H + \Delta H}; \quad (10)$$

$$v_n = I \frac{H + \Delta H}{\Delta H} = \frac{I}{\varphi}, \text{ м/с;} \quad (11)$$

$$\Delta H = H_c \cdot \varphi = H_c \cdot \frac{I}{\varphi} = H \cdot \frac{I}{v_n - I} = H \cdot \frac{\varphi}{1 - \varphi}, \text{ м.} \quad (12)$$

При некотором критическом значении интенсивности аэрации в водоподъемной трубе $I_{кр}$ высота подъема водовоздушной смеси ΔH будет больше, чем высота эрлифтной трубы над уровнем жидкости h , в результате чего под действием гидростатического напора $\Delta h = \Delta H - h$ жидкость внутри водоподъемной трубы будет двигаться относительно стенок трубы со скоростью $v_ж$, а пузырьки воздуха будут всплывать относительно жидкости со скоростью v_n . Эрлифт будет работать в режиме перекачивающего устройства.

Скорость движения жидкости $v_ж$ может быть определена по формуле

$$v_ж = \sqrt{2g\Delta h}, \text{ м/с.} \quad (13)$$

Высота слоя водовоздушной смеси над смесительным устройством будет ограничиваться высотой водоподъемной трубы

$$H_3 = H + \Delta h, \text{ м.} \quad (14)$$

В этом случае продолжительность всплывания пузырька воздуха, определяющая время пребывания газовой фазы в эрлифтной зоне, может быть вычислена по формуле

$$T_r = \frac{H_3}{v_ж + v_n} = \frac{\Delta H + h}{v_ж + v_n}, \text{ с.} \quad (15)$$

Время пребывания газовой фазы в эрлифтной зоне может быть также вычислено по формуле

$$T_r = \frac{W_r}{Q_r} = \frac{\varphi \cdot F_3 \cdot H_3}{I \cdot F_3} = \frac{\varphi \cdot H_3}{I} = \frac{\varphi}{I} (H + h), \text{ с.} \quad (16)$$

Из (15) и (16) имеем:

$$\frac{H + h}{v_ж + v_n} = \frac{\varphi}{I} (H + h),$$

откуда

$$\varphi = \frac{I}{v_ж + v_n}. \quad (17)$$

Основной технологической характеристикой, определяющей режим работы перекачивающего эрлифтного устройства, является его относительный расход

$$\bar{Q} = \frac{Q_{\Gamma}}{Q_{\text{ж}}}, \quad (18)$$

где Q_{Γ} – объемный расход воздуха, подаваемого в эрлифтное устройство, м³/с; $Q_{\text{ж}}$ – объемный расход воды, перекачиваемой эрлифтным устройством, м³/с.

Относительный расход перекачивающего эрлифтного устройства может быть определен из оценки баланса энергии, затрачиваемой компрессором на сжатие атмосферного воздуха и на поднятие перекачиваемой воды на высоту h .

При изотермическом процессе сжатия воздуха от атмосферного давления P_a , Па, до давления P , при котором он подводится к смесительному устройству эрлифта, энергия, затрачиваемая в единицу времени, может быть вычислена по формуле

$$E_p = P_a \cdot Q_{\text{в}} \cdot \ln \frac{P}{P_a}, \text{ Дж/с; Вт.} \quad (19)$$

Величина полезной работы, затрачиваемой в единицу времени на подъем воды сжатым воздухом на высоту h , определяется по формуле

$$E_h = P_{\text{ж}} \cdot g \cdot Q_{\text{ж}} \cdot h, \text{ Дж/с; Вт,} \quad (20)$$

где g – ускорение свободного падения.

С учетом потерь энергии

$$\eta \cdot E_p = E_h, \text{ Дж/с; Вт,} \quad (21)$$

где η – коэффициент полезного действия эрлифтного устройства.

Эффективность работы перекачивающего эрлифтного устройства зависит от заглубления смесителя, которое характеризуется величиной коэффициента погружения

$$K_{\text{п}} = \frac{H + h}{h}. \quad (22)$$

В зависимости от величины коэффициента погружения $K_{\text{п}}$ величина коэффициента полезного действия перекачивающего эрлифта изменяется в пределах $\eta=0,290-0,370$.

Из (19), (20) и (21) имеем:

$$\bar{Q} = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{ж}}} = \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h}{\eta \cdot P_a \cdot \ln \frac{P}{P_a}} = \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h}{\eta \cdot P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot H}{P_a}}. \quad (23)$$

Величину коэффициента погружения надлежит принимать в пределах $K_{\text{п}} = 0,5-0,6$, скорость течения жидкости на входе в смеситель – не более 1,2–2 м/с, скорость движения сжатого воздуха в подводящем воздуховоде – не более 10–20 м/с, диаметр и число отверстий в смесителе определяется исходя из скорости прохождения через отверстия, равной 2–3 м/с.

Наряду с формулой (23) для определения величины относительного расхода эрлифтного устройства может быть использована эмпирическая формула, полученная Н.А. Масленниковым:

$$\bar{Q} = 10^{\frac{2}{\sqrt{K_{\text{п}}}} - 1}. \quad (24)$$

Для оценки энергетического баланса перекачивающего эрлифтного устройства более корректно использовать не величину удельной секундной энергии E , Вт, а величину удельной массовой секундной энергии ε , Вт/кг, определяемую как величина секундной энергии, отнесенная к единице массы перекачиваемой жидкости [1, 2].

Удельная массовая энергия, затрачиваемая на сжатие воздуха, определяется как

$$\begin{aligned} \varepsilon_{PH} &= \frac{Q_B \cdot P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot H}{P_a}}{\rho_{ж} \cdot F_3 \cdot H} = \frac{I \cdot F_3 \cdot P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot H}{P_a}}{\rho_{ж} \cdot F_3 \cdot H} = \\ &= \frac{I \cdot P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot H}{P_a}}{\rho_{ж} \cdot H}, \text{ Вт/кг; м}^2/\text{с}^3. \end{aligned} \quad (25)$$

Удельно массовая энергия сжатого воздуха будет расходоваться на:

1) создание удельно массовой энергии движения жидкости в водоподъемной трубе

$$\varepsilon_v = \frac{m \cdot v_3^2}{m \cdot T_{ж}}, \text{ Вт/кг; м}^2/\text{с}^3, \quad (26)$$

где m – масса жидкости, движущейся в эрлифте, кг; $T_{ж}$ – время нахождения потока жидкости в стволе эрлифта, с; v_3 – приведенная скорость потока жидкости в стволе эрлифта, определяемая как отношение расхода перекачиваемого потока жидкости $Q_{ж}$, м³/с, к площади поперечного сечения эрлифта.

$$v_3 = \frac{Q_{ж}}{F_3}, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}; \text{ м/с}. \quad (27)$$

Время нахождения потока жидкости в стволе эрлифта может быть определено как

$$T_{ж} = \frac{H_3}{v_{ж}}, \text{ с},$$

тогда

$$\varepsilon_v = \frac{m \cdot v_3^2}{m \cdot \frac{H_3}{v_{ж}}} = \frac{v_3^3}{2H}, \text{ Вт/кг; м}^2/\text{с}^3; \quad (28)$$

2) удельно массовую энергию, затрачиваемую на поднятие жидкости в стволе эрлифтного устройства. Элементарный объем жидкости, находящейся в эрлифтном устройстве на уровне смесителя, в процессе его работы будет поднят на высоту H_3 . Высота поднятия элементарного объема жидкости, находящейся на уровне верхнего сечения водоподъемной трубы, будет равна нулю, средняя высота поднятия жидкости в стволе эрлифтного устройства будет равна $H_3/2$.

Тогда

$$\varepsilon_H = \frac{m \cdot g \cdot \frac{H_3}{2}}{m \cdot T_{ж}} = \frac{g \cdot \frac{H_3}{2}}{\frac{H_3}{v_3}} = \frac{g \cdot v_3}{2}, \text{ Вт/кг; м}^2/\text{с}^3; \quad (29)$$

3) удельно массовую энергию, затрачиваемую на преодоление гидростатического давления столба жидкости высотой h над уровнем перекачиваемой жидкости

$$\varepsilon_{Ph} = \frac{I \cdot P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot h}{P_a}}{\rho_{ж} \cdot H}, \text{ Вт/кг; м}^2/\text{с}^3. \quad (30)$$

Из условия равенства удельных энергий

$$\varepsilon_{PH} = \varepsilon_0 + \varepsilon_H + \varepsilon_{Ph}, \text{ Вт/кг; м}^2/\text{с}^3, \quad (31)$$

$$I \cdot P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot h}{\rho_{ж} \cdot H} = \frac{v_3^3}{2H} + \frac{g \cdot v_3}{2} + \frac{I \cdot P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot h}{P_a}}{\rho_{ж} \cdot H},$$

откуда

$$I = \frac{1}{2} \frac{\rho_{ж} \cdot g \cdot H}{P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot h}{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot h}} \left(\frac{v_3^3}{H_3 \cdot g} + v_3 \right), \text{ м/с.} \quad (32)$$

С учетом

$$\bar{Q} = \frac{Q_r}{Q_{ж}} = \frac{I \cdot F_3}{v_3 \cdot F_3} = \frac{I}{v_3} \quad (33)$$

получим

$$\bar{Q} = \frac{1}{2} \frac{\rho_{ж} \cdot g \cdot H}{P_a \cdot \ln \frac{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot h}{P_a + \rho_{ж} \cdot g \cdot h}} \left(1 + \frac{v_3^3}{H_3 \cdot g} \right). \quad (34)$$

Значения величин относительного расхода \bar{Q} , вычисленные по формулам (23) и (34), при различных значениях коэффициента погружения K_n ствола эрлифтного устройства высотой $H_3=1,5$ м и величине приведенной скорости подачи газовой фазы $I=0,6$ м/с представлены в таблице.

Величина коэффициента погружения K_n	5	5,5	6
Величина коэффициента относительного расхода \bar{Q} , вычисленная по формуле (23)	0,78	0,71	0,66
Величина коэффициента относительного расхода \bar{Q} , вычисленная по формуле (34)	0,75	0,72	0,71
Погрешность вычислений Δ , %	3,9	1,4	7,0

Из данных, приведенных в таблице, следует, что величины отклонений, полученных при вычислении значений относительного расхода \bar{Q} по формулам (23) и (31), составляют 3,9 и 7,0 %, что вполне допустимо при инженерных расчетах технологических параметров перекачивающего эрлифтного устройства.

На рис. 2 представлены графики зависимости величины относительного расхода \bar{Q} от величины приведенной скорости подачи газовой фазы и значения коэффициента погружения K_n перекачивающего эрлифтного устройства, имеющего водоподъемную трубу высотой 1,5 м [3].

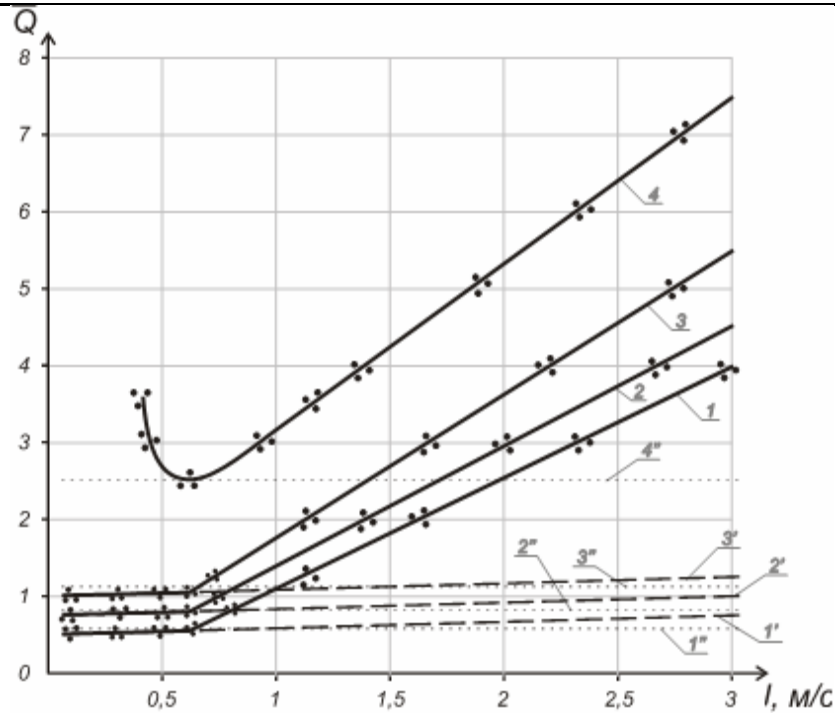


Рис. 2. Зависимости относительного расхода \bar{Q} от приведенной скорости подачи газовой фазы I и значения коэффициента погружения K_r перекачивающего эрлифтного устройства, имеющего водоподъемную трубу высотой 1,5 м:

- 1 – экспериментальные данные, полученные при $K_r=6$; 1' – значения \bar{Q} , вычисленные по формуле (34) при $K_r=6$; 1'' – значения \bar{Q} , вычисленные по формуле (24) при $K_r=6$;
 2 – экспериментальные данные, полученные при $K_r=4$; 2' – значения \bar{Q} , вычисленные по формуле (34) при $K_r=4$; 2'' – значения \bar{Q} , вычисленные по формуле (24) при $K_r=4$;
 3 – экспериментальные данные, полученные при $K_r=3$; 3' – значения \bar{Q} , вычисленные по формуле (34) при $K_r=3$; 3'' – значения \bar{Q} , вычисленные по формуле (24) при $K_r=3$;
 4 – экспериментальные данные, полученные при $K_r=2$; 4'' – значения \bar{Q} , вычисленные по формуле (24) при $K_r=2$

Как следует из данных, представленных на графиках, увеличение приведенного расхода воздуха более $I = 0,6$ м/с сопровождается существенным повышением относительного расхода перекачивающего эрлифтного устройства, в результате чего уменьшается эффективность его работы. Повышение относительного расхода эрлифта может быть объяснено изменением структуры потока газожидкостной смеси.

В соответствии с формулой (12) при приближении значения величины приведенной скорости подачи газовой фазы I к скорости всплывания пузырька воздуха v_n величина подъема уровня газожидкостной смеси ΔH над уровнем жидкости существенно увеличивается ($I \rightarrow v_n$; $\Delta H \rightarrow \infty$).

В этом случае наблюдается переход от режима пузырькового течения водовоздушной смеси в водоподъемной трубе эрлифтного устройства к пробковому (снарядному) режиму течения водовоздушной смеси. Пузырьковый режим характеризуется движением газа в виде отдельных малых по сравнению с радиусом водоподъемной трубы пузырьков газа. Пробковый режим характеризуется периодическим прохождением больших цилиндрических пузырей, диаметр которых соизмерим с диаметром трубы, а длина может быть во много раз больше. За каждым таким пузырем следует жидкая пробка, содержащая мелкие пузырьки газа.

При величине коэффициента погружения $K_r=2$ получить пузырьковый режим работы перекачивающего эрлифтного устройства не удалось. При всех исследованных

значениях I наблюдается пробковый режим течения водовоздушной смеси. Полученные экспериментальные данные позволяют рекомендовать принимать скорость течения жидкости на входе в смеситель не более $v_3=0,6-0,9$ м/с, что обеспечит поддержание экономичного режима его работы.

Формула (34) была получена на основе анализа энергетического баланса перекачивающего эрлифтного устройства. Эта формула является теоретической (детерминированной) математической моделью, описывающей процесс работы перекачивающего эрлифтного устройства, она обладает наиболее точными прогнозируемыми свойствами в широком диапазоне изменения режимов его работы.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Высокоэффективные конструкции аэраторов пневматического типа для биологической очистки сточных вод / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, С.Н. Хазов: депонированная монография. – М.: ВИНТИ, 2004. – 120 с.
2. Андреев, С.Ю. Флотационная очистка нефтесодержащих сточных вод с применением вихревых смесительных устройств / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, С.Н. Хазов // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – №1. – С. 92–97.
3. Гаврина, Е.В. Разработка и исследование высокоэффективных конструкций аэротенков пневматического типа для биологической очистки сточных вод: диссертация канд. техн. наук / Е.В. Гаврина. – Пенза: ПГАСА, 2000. – 126 с.

References

1. Andreev, S.Y. Highly efficient design of pneumatic type aerators for biological wastewater treatment. / S.Y. Andreev, B.M. Grishin, S. Khazov: deposited monograph. – M.: VINITI, 2004. – 120 p.
2. Andreev, S.Y. Flotation treatment of oily wastewater using vortex mixing devices / S.Y. Andreev, B.M. Grishin, S. Hazov // Regional architecture and engineering. – 2009. – №1. – P. 92–97.
3. Gavrina, E.V. Development and research of high-performance designs of pneumatic aeration type for biological treatment of wastewater: Thesis for the degree of Ph.D. / E.V. Gavrina. – Penza: PGASA, 2000. – 126 p.

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор, зав.
кафедрой «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»

Малютина Татьяна 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 Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Bikunova Marina Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
Department «Building structures»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Kamburg Vladimir Grigoryevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Information and computing
systems»

Malyutina Tatyana Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Water supply, sewerage
and hydraulic engineering»

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОЗЕРНИСТОЙ ЗАГРУЗКИ КОНТАКТНЫХ КАМЕР КОАГУЛЯЦИИ

Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Н.Н. Ласьков, В.Г. Камбург, Т.В. Малютина

Приведены экспериментальные данные по определению гидравлического уклона и пористости крупнозернистой контактной загрузки при фильтровании загрязнённой природной воды. Полученные результаты могут быть использованы для расчёта конструктивных размеров контактных камер коагуляции смесителей водопроводных очистных станций.

Ключевые слова: природная вода, контактная коагуляция, крупнозернистая загрузка, гидравлический уклон, пористость

HYDRAULIC CHARACTERISTICS FOR LARGE GRAIN LOADING OF CONTACT COAGULATION CHAMBERS

B.M. Grishin, M.V. Bikunova, N.N. Laskov, V.G. Kamburg, T.V. Malyutina

Experimental data about hydraulic gradient and porosity of large grain contact loading definition at polluted nature water filtration is given. The results may be used at constructive dimensions calculation of coagulation contact chambers of water treatment plant mixers.

Keywords: natural water, contact coagulation, large grain loading, hydraulic gradient, porosity

При реагентной очистке природных вод поверхностных источников часто возникает необходимость в интенсификации процессов хлопьеобразования после коагуляционной обработки воды. Одним из приемов для ускорения процессов агломерации примесей в обрабатываемой воде является контактная коагуляция в смесительных устройствах, оборудованных контактными камерами с крупнозернистыми загрузками

из щебня, гравия и других инертных материалов [1–3]. При фильтровании коагулируемой воды через слой контактной загрузки ее зерна являются дополнительными центрами хлопьеобразования, что ускоряет процесс последующего осветления воды. Для расчёта контактных камер на водопроводных очистных сооружениях различной производительности необходимо знать закономерности изменения гидравлического сопротивления и пористости крупнозернистой загрузки в процессе её работы при заданном диапазоне скоростей фильтрования и крупности зерен.

Лабораторные исследования гидравлических характеристик крупнозернистой фильтрующей загрузки проводились на фильтровальной колонне диаметром 150 мм и высотой 2,5 м, в которую загружался гранитный щебень различной крупности. Высота слоя щебня составляла $H_{\phi}=1,0$ м, выше и ниже слоя к фильтровальной колонне присоединялись два пьезометра. В экспериментах использовалась сырая вода Сурского водохранилища. Гидравлический уклон в процессе исследований определялся по формуле

$$i = \frac{H_1 - H_2}{H_{\phi}}, \quad (1)$$

где H_1 и H_2 – показания пьезометров.

Пористость чистой загрузки m_0 до начала фильтрования находилась по соотношению

$$m_0 = \frac{M_{\text{вн}} - M_{\text{сух}}}{\rho \cdot V_{\text{вн}}} - \frac{W_{\text{в}}}{100}, \quad (2)$$

где $M_{\text{вн}}$, $V_{\text{вн}}$ – масса, кг, и объем, м^3 , образца контактной массы, поры которой полностью заполнены водой; $M_{\text{сух}}$ – масса сухого образца, кг; ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; $W_{\text{в}}$ – водопоглощение, % (по паспортным данным для гранитного щебня $W_{\text{в}}=0,1-0,2$ %).

Пористость крупнозернистой загрузки m в произвольный момент времени вычисляли методом последовательных приближений с помощью выражения [4]

$$\frac{i}{i_0} = \left(\frac{1-m}{1-m_0} \right)^{1,1} \left(\frac{m}{m_0} \right)^3, \quad (3)$$

где i_0 и i – гидравлические уклоны соответственно в начальный ($t=0$) и произвольный моменты времени фильтрования.

Величину пористости $m_{\text{пр}}$ в состоянии предельной насыщенности пор загрузки осадком находили аналогичным способом, когда гидравлический уклон после продолжительного фильтрования становился постоянным $i=i_{\text{пр}}=\text{const}$.

Лабораторные эксперименты проводились несколькими сериями. Для каждой серии опытов в фильтровальную колонну засыпалась однородная зернистая загрузка определенного диаметра (например, диаметром $d=10$ мм). В начальный момент фильтрования исходная вода не обрабатывалась коагулянтном и с помощью пьезометров определялся гидравлический уклон i_0 в слое чистой загрузки высотой $H_{\phi}=1,0$ м. Далее в воду вводился раствор коагулянта и замутнитель (промывная вода скорых фильтров), при этом ее мутность изменялась от 30 до 200 мг/л. В течение всего периода фильтрования t (от 6 до 8 часов) снимались показания пьезометров и определялись значения гидравлического уклона i и пористости загрузки при заданной скорости фильтрования $v_1=\text{const}$. После этого осуществлялась промывка загрузки обратным током водопроводной воды и эксперимент повторялся при новой скорости фильтрования $v_2=\text{const}$. Всего проводилось 3 серии экспериментов с однородной загрузкой диаметром $d=10, 20$ и 30 мм, а также одна серия экспериментов с неоднородной загрузкой с эквивалентным диаметром $d_{\text{экрв}}=33$ мм и коэффициентом неоднородности $K_{\text{н}}=1,7$. Результаты экспериментальных исследований по определению гидравлических уклонов в слое зернистой контактной массы показаны на рис. 1.

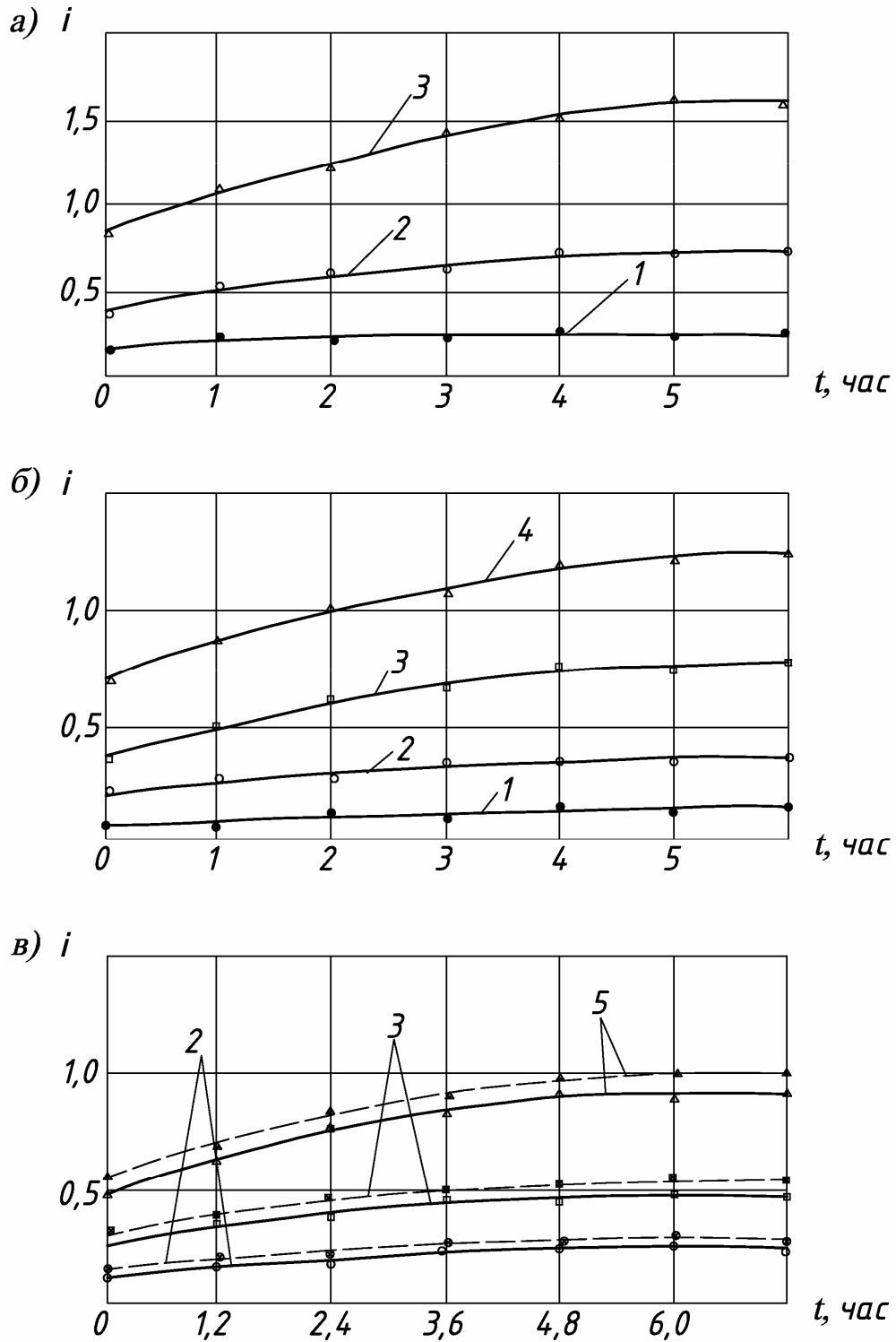


Рис. 1. Графики изменения гидравлического уклона в зависимости от времени и скорости фильтрации в контактной загрузке при крупности зерен:
 а – $d=10$ мм; б – $d=20$ мм; в – $d=30$ мм;
 1 – $v=0,03$ м/с; 2 – $v=0,05$ м/с; 3 – $v=0,07$ м/с; 4 – $v=0,09$ м/с; 5 – $v=0,1$ м/с;
 ————— – однородная загрузка;
 - - - - - – неоднородная загрузка $d_{\text{эКВ}}=33$ мм, $K_H=1,7$

При использовании однородной загрузки с крупностью $d=10$ мм скорости фильтрования изменялись от 0,03 м/с до 0,07 м/с. Для $v=0,03$ м/с величина гидравлического уклона возрастала от $i_0=0,17$ до $i_{пр}=0,25$ через 3–4 часа фильтрования и затем стабилизировалась, что, очевидно, соответствовало состоянию предельного насыщения порового пространства отложениями осадка. Аналогичный характер кривых $i=f(t)$ был отмечен во всем диапазоне скоростей фильтрования и крупности загрузок. При скорости $v=0,05$ м/с гидравлический уклон в течение времени $t=5,5–6$ ч увеличился от $i_0=0,4$ до $i_{пр}=0,7$; при $v=0,07$ м/с начальное значение уклона составляло $i_0=0,8$, а в условиях предельной насыщенности загрузки было равно $i_{пр}=1,64$ (рис. 1, а).

Для однородной загрузки с крупностью $d=20$ мм скорости фильтрования изменялись от 0,03 м/с до 0,09 м/с. Гидравлический уклон в течение 5,5–6 ч увеличивался до постоянных значений (от $i_{пр}=0,13$ до $i_{пр}=1,25$) во всем диапазоне скоростей фильтрования (см. рис. 1, б).

Для однородной загрузки со средним диаметром зерен $d=30$ мм скорости фильтрования изменялись в пределах от 0,05 м/с до 0,1 м/с. При $v=0,05$ м/с предельное насыщение порового пространства контактной массы устанавливалось через 6,5–7 часов с увеличением гидравлического уклона от $i_0=0,13$ до $i_{пр}=0,24$ (см. рис. 1, в). При $v=0,07$ м/с значение уклона постепенно увеличивалось от $i_0=0,26$ до $i_{пр}=0,46$, а при $v=0,1$ м/с – от $i_0=0,48$ до $i_{пр}=0,91$.

В четвертой серии лабораторных экспериментов исследовалась неоднородная загрузка из гранитного щебня с крупностью фракций от 20 до 50 мм. Эквивалентный диаметр контактной массы по результатам рассева составлял $d_{э\text{кв}}=33$ мм, коэффициент неоднородности был равен $K_n=1,7$. Скорость фильтрования также изменялась от 0,05 м/с до 0,1 м/с. При $v=0,05$ м/с гидравлический уклон увеличивался от $i_0=0,15$ до $i_{пр}=0,27$, при $v=0,07$ м/с величина гидравлического уклона изменялась от $i_0=0,29$ до $i_{пр}=0,52$, при $v=0,1$ м/с значения гидравлического уклона были равны от $i_0=0,56$ в чистой загрузке, а в состоянии предельного насыщения увеличивались до $i_{пр}=1,01$ (см. рис. 1, в). Увеличение сопротивления неоднородной загрузки с $d_{э\text{кв}}=33$ мм по сравнению с однородной контактной массой с $d=30$ мм может быть объяснено большей извилистостью межзернового пористого пространства в неоднородной загрузке.

Графики зависимости $m=f(t)$ для различной крупности загрузки, построенные на основе расчетов по формуле (3), приведены на рис. 2.

Как видно из графиков на рис. 2, а, б и в, пористость загрузки в течение времени фильтрования изменялась от $m_0=0,415–0,42$ до $m_{пр}=0,34–0,36$ в зависимости от скорости и времени фильтрования.

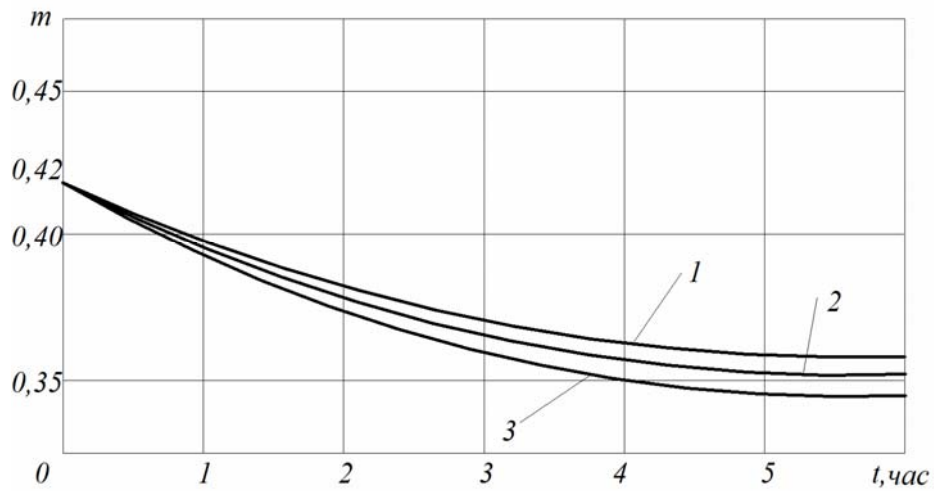
Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что величина пористости загрузки в состоянии предельной насыщенности осадком уменьшается с возрастанием скорости фильтрования и почти не зависит от крупности зерен загрузки. Время насыщения порового пространства загрузки увеличивается с 4,5 до 7 часов при возрастании крупности зерен с 10 до 30 мм. Данный факт должен учитываться при эксплуатации гидравлических смесителей безнапорного типа, оборудованных камерами с контактной загрузкой.

После математической обработки результатов экспериментов установлено, что при фильтровании коагулированной воды через слой однородной крупнозернистой загрузки в условиях предельного насыщения порового пространства величина гидравлического уклона может быть определена по формуле

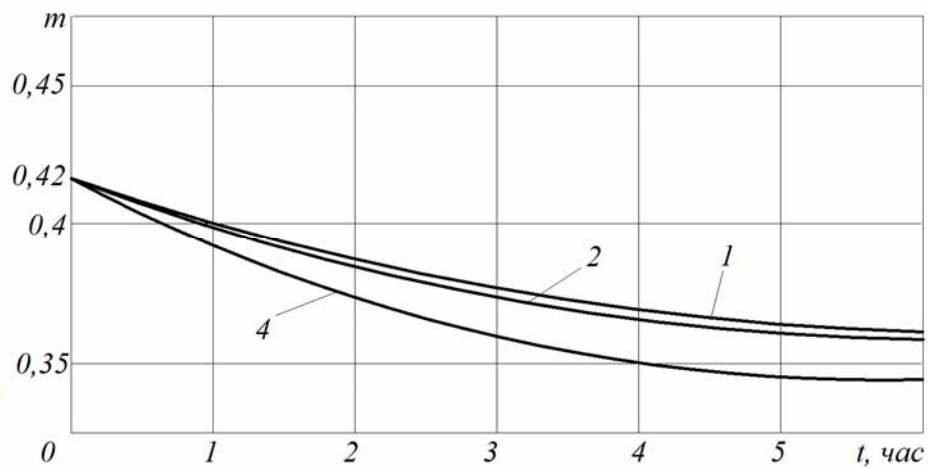
$$i_{пр} = K \frac{(1 - m_{пр})^{1,1} \cdot v^{1,9}}{m_{пр}^3 \cdot d^{1,1}}, \quad (4)$$

где K – коэффициент, $K=0,1$; $m_{пр}$ – пористость заилненной загрузки, $0,34 \leq m_{пр} \leq 0,36$; v – скорость фильтрования, $0,03 \leq v \leq 0,10$ м/с; d – крупность зерен загрузки, $0,01 \leq d \leq 0,03$ м.

а)



б)



в)

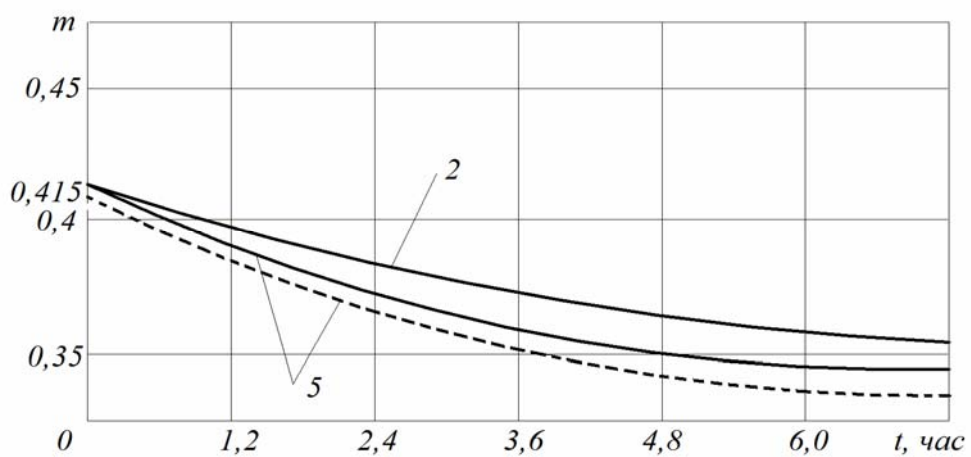


Рис. 2. Графики зависимостей расчетных значений пористости однородной контактной загрузки от времени фильтрации при крупности зерен:

а – $d=10$ мм; б – $d=20$ мм; в – $d=30$ мм;

1 – $v=0,03$ м/с; 2 – $v=0,05$ м/с; 3 – $v=0,07$ м/с; 4 – $v=0,09$ м/с; 5 – $v=0,1$ м/с ;

————— – однородная загрузка;

----- – неоднородная загрузка $d_{\text{КВ}}=33$ мм, $K_{\text{H}}=1,7$

Выводы:

1. Выявлены зависимости изменения гидравлического уклона и пористости крупнозернистой контактной загрузки крупностью 10–30 мм от времени фильтрования загрязненной коагулированной природной воды. Установлено, что при фактически одном и том же эквивалентном диаметре зерен гидравлическое сопротивление однородной загрузки меньше, чем сопротивление неоднородной контактной массы. Величина пористости загрузки в состоянии предельной насыщенности уменьшается с возрастанием скорости фильтрования и практически не зависит от крупности зерен контактной загрузки.

2. Получена математическая зависимость, устанавливающая закономерность изменения гидравлического уклона от скорости фильтрования, крупности и пористости крупнозернистой контактной массы в условиях предельной насыщенности ее порового пространства.

3. Экспериментальные и расчётные зависимости для определения гидравлических характеристик крупнозернистых загрузок могут быть использованы для определения конструктивных размеров контактных камер смесительных устройств, работающих на станциях водоподготовки.

Список литературы

1. Гришин, Б.М. Экспериментальные исследования очистки воды с применением контактной коагуляции на крупнозернистой загрузке / Б.М. Гришин, А.И. Шеин, С.М. Салмин // *Водоочистка*. – 2015. – №4. – С. 26–33.

2. Экспериментальные исследования гидравлического сопротивления крупнозернистой загрузки / Б.М. Гришин, Н.Н. Ласьков, М.А. Сафронов, С.М. Салмин // *Сб. трудов XV Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах»*. – 2014. – С. 64–68.

3. Гришин, Б.М. Теоретические исследования процесса коагуляции примесей воды с использованием крупнозернистой контактной загрузки / Б.М. Гришин, А.Н. Кошев, С.М. Салмин // *Водоочистка*. – 2014. – №6. – С. 22–26.

4. Гришин, Б.М. Закономерности изменения гидравлического сопротивления крупнозернистой контактной загрузки при фильтровании водной суспензии / Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, С.М. Салмин // *Региональная архитектура и строительство*. – 2013. – №3. – С. 121–127.

References

1. Grishin, B.M. Experimental investigations of water purification with the use of contact coagulation in large grain loading / B.M. Grishin, A.I. Shein, S.M. Salmin // *Water purification*. – 2015. – №4. – P. 26–33.

2. Experimental investigations of large grain loading hydraulic resistance / B.M. Grishin, N.N. Laskov, M.A. Safronov, S.M. Salmin // *Collection of papers of the XV International scientific and practical conference: «Problems of power economy in industrial and communal – housing complexes»*. – 2014. – P. 64–68.

3. Grishin, B.M. Theoretical investigations of water pollution coagulation process with the use of large grain contact loading / B.M. Grishin, A.N. Koshev, S.M. Salmin // *Water purification*. – 2014. – №6. – P. 22–26.

4. Grishin, B.M. Conformities of change for hydraulic resistance of large grain loading at water suspension filtration / B.M. Grishin, S.Yu. Andreev, S.M. Salmin // *Regional architecture and engineering*. – 2013. – №3. – P. 121–127.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, зав. кафедрой
«Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Кочергин Александр Сергеевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»,
декан факультета инженерной экологии

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

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

Kochergin Aleksandr Sergeevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Water supply, sewerage
and hydraulic engineering», Dean
of the Faculty of Environmental Engineering

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ХОЗЯЙСТВЕННО- БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, Н.Н. Ласьков, А.С. Кочергин

Описаны пути совершенствования процесса полной биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в аэротенке-смесителе. Рассмотрена возможность интенсификации работы компактной установки КУ-200 за счет использования приема гидравлического секционирования ее аэрационного объема. Показано, что внедрение предложенной технологии интенсификации процессов биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод позволит повысить производительность компактной установки КУ-200 в 1,8 раза.

Ключевые слова: аэрационный объем, активный ил, окислительная мощность сооружения, период аэрации, коэффициент скорости окисления, гидравлическое секционирование

BIOLOGICAL TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER BASED ON HYDRAULIC PARTITIONING

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, N.N. Laskov, A.S.Kochergin

The ways of improving the process of complete biological treatment of domestic sewage in the aeration basin mixer are given. The possibility of intensification of the work of a compact installation CG-200 by using hydraulic partitioning its aeration volume is shown. Implementation of the proposed technology to intensify the processes of biological treatment of domestic wastewater will improve the performance of a compact unit KW-200 in 1,8 times.

Keywords: aeration volume, activated sludge, oxidation power plants, aeration period, rate of oxidation speed, hydraulic partitioning

Для очистки сточных вод локальных объектов и малых населенных пунктов НИИ КВОВ АКХ совместно с институтом «Гипрокоммунводоканал» разработал ряд типовых проектов очистных сооружений производительностью 12-700 м³/сут на основе компактных установок заводского изготовления типа КУ. Установки типа КУ предназначены для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, имеющих концентрации органических загрязнений (БПК_{полн} 200–270 мг/л и взвешенных веществ 200–3000 мг/л). Установки предусматривают проведение полной биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод и аэробную стабилизацию избыточного активного ила. Существенное преимущество установок типа КУ заключается в том, что они не требуют первичного отстаивания сточных вод и позволяют отказаться от сооружений по обработке сырого осадка и избыточного активного ила. Установки типа КУ изготавливаются в заводских условиях из металла с антикоррозионным покрытием и монтируются непосредственно на месте установки.

В настоящее время наибольшее распространение получили компактные установки заводского изготовления типа КУ-200. Установка КУ-200 оборудуется мелкодисперсной системой пневматической аэрации и состоит из трех сооружений, сблокированных в одном корпусе: аэротенк, вторичный отстойник, стабилизатор активного ила. По гидродинамическому режиму аэрационного бассейна используемый в установке КУ-200 аэротенк является реактором-смесителем.

Основным преимуществом аэротенка-смесителя, позволяющим использовать его в процессах полной биологической очистки малых объектов канализования, является его устойчивость к кратковременным колебаниям величины нагрузки на активный ил по органическим загрязнениям. Основным недостатком аэротенка-смесителя является низкая удельная окислительная мощность сооружения ОМ (кг/м³·сут) [1].

Формальной схеме работы аэротенка-смесителя соответствует следующая упрощенная форма составления материального баланса расхода сточных вод и содержащихся в них органических загрязнений:

$$Q_{\text{ч}}L_{\text{вх}} = Q_{\text{ч}}L_{\text{вых}} + V_L W_a = Q_{\text{ч}} \cdot L_{\text{вых}} + V_L Q_{\text{ч}} T_a, \quad (1)$$

$$L_{\text{вх}} = L_{\text{вых}} + V_L T_a = L_{\text{вых}} + \rho a(1-S)T_a, \quad (2)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – среднечасовой расход сточных вод, м³/ч; $L_{\text{вх}}$ и $L_{\text{вых}}$ – соответственно концентрации органических загрязнений в сточных водах на входе и в иловой смеси на выходе из аэротенка-смесителя, мг/л; W_a – величина аэрационного объема аэротенка-смесителя, м³; V_L – объемная скорость окисления органических загрязнений активным илом, мг/л·ч; ρ – удельная скорость окисления органических загрязнений беззольным веществом активного ила, мг/г·ч; a – доза ила, г/л; S – зольность ила;

$T_a = \frac{W_a}{Q_{\text{ч}}}$ – продолжительность аэрирования иловой смеси в аэротенке-смесителе (период аэрации), ч.

Из (2) имеем

$$L_{\text{вых}} = L_{\text{вх}} - \rho a(1-S)T_a; \\ T_a = \frac{L_{\text{вх}} - L_{\text{вых}}}{\rho a(1-S)}. \quad (3)$$

Уравнение (2) можно записать в виде

$$\frac{L_{\text{вх}}}{L_{\text{вых}}} = 1 + \frac{V_L}{L_{\text{вых}}} \cdot T_a = 1 + K_p T_a, \quad (4)$$

где K_p – константа скорости реакции, ч^{-1} ;

$$K_p = \frac{V_L}{L_{\text{ВЫХ}}} = \frac{\rho}{L_{\text{ВЫХ}}} a(1-S), \quad (5)$$

При малой концентрации органических загрязнений $L_{\text{ВЫХ}}$, $\text{мг/л}\cdot\text{ч}$, в иловой смеси аэрационного бассейна $\frac{\rho}{L_{\text{ВЫХ}}} \approx \text{const}$.

Поскольку a и S также являются постоянными величинами, то K_p будет константой.

В этом случае формулу (2) можно записать в виде

$$L_{\text{ВХ}} = L_{\text{ВЫХ}} \cdot (1 + K_p T_a),$$

откуда

$$L_{\text{ВЫХ}} = \frac{L_{\text{ВХ}}}{1 + K_p T_a}. \quad (6)$$

Окислительная мощность аэротенка-смесителя, работающего в режиме биологической очистки, может быть существенно повышена путем разделения его аэрационного объема на ряд последовательно соединенных ячеек.

Технологический прием выделения из общего аэрационного объема ряда ячеек, работающих в режиме аэротенка-смесителя и последовательно соединяющихся друг с другом, носит название гидравлического секционирования и используется в ячеистых аэротенках.

При гидравлическом секционировании рециркуляционный активный ил и сточные воды подаются в первую ячейку, где происходит интенсивное их перемешивание и устанавливаются одинаковые концентрации органических загрязнений смеси во всех точках аэрационного объема ячейки.

Прошедшая первую ступень биологической очистки иловая смесь поступает во вторую ячейку. Поскольку концентрация органических загрязнений в иловой смеси в первой ячейке $L_{\text{ВЫХ1}}$ выше, чем концентрация органических загрязнений в иловой смеси во второй ячейке $L_{\text{ВЫХ2}}$ ($L_{\text{ВЫХ1}} > L_{\text{ВЫХ2}}$), и $K_p \approx \text{const}$, можно записать

$$K_p = \frac{\rho_1 a(1-S)}{L_{\text{ВЫХ1}}} = \frac{\rho_2 a(1-S)}{L_{\text{ВЫХ2}}} = \text{const}. \quad (7)$$

Из (7) имеем $\rho_1 > \rho_2$.

Таким образом, технологический прием гидравлического секционирования аэрационного объема аэротенка-смесителя позволяет повысить среднюю величину удельной скорости окисления органических загрязнений беззольным веществом активного ила ρ .

Для ячеистого аэротенка, состоящего из n ячеек, формула (6) запишется в виде

$$L_{\text{ВЫХ}} = \frac{L_{\text{ВЫХ}}}{(1 + K_{p1} T_1)(1 + K_{p2} T_2) \dots (1 + K_{pn} T_n)}, \quad (8)$$

где $K_{p1}, K_{p2} \dots K_{pn}$ – константа скорости реакции (скорости биохимического окисления органических загрязнений в ячейках аэротенка), ч^{-1} ; T_1, T_2, T_3 – продолжительность процесса биохимического окисления органических загрязнений активным илом в ячейках аэротенка, ч.

Для ячеистого аэротенка, состоящего из двух ячеек, формула (8) при условии $K_{p1} = K_{p2} = K_p$ примет вид

$$\frac{L_{\text{вх}}}{L_{\text{вых}}} = \frac{1}{(1 + K_p T_1)(1 + K_p T_2)}; \quad (9)$$

при $T_2 = 0; T_1 = T_a$ формулу (9) можно записать в виде

$$\frac{L_{\text{вх}}}{L_{\text{вых}}} = (1 + K_p T_1) = (1 + K_p T_2); \quad (10)$$

при $T_1 = T_2 = 0,5T_a; \frac{T_1}{T_2} = 1$ формулу (10) можно записать в виде

$$\frac{L_{\text{вх}}}{L_{\text{вых}}} = (1 + K_p T_1)(1 + K_p T_2) = (1 + 0,5K_p T_a)^2. \quad (11)$$

На рисунке изображены графики зависимостей безразмерной величины $\frac{L_{\text{вх}}}{L_{\text{вых}}}$ от значения $K_p T_a$, вычисленные с использованием формулы (9) при различных состояниях $\frac{T_1}{T_2}$.

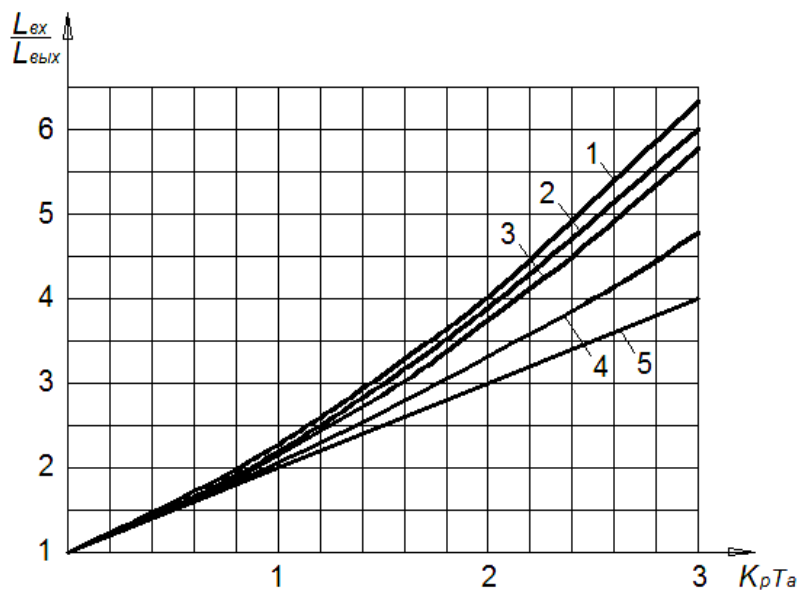


График зависимостей безразмерной величины $\frac{L_{\text{вх}}}{L_{\text{вых}}}$ от значения $K_p T_a$,

вычисленные с использованием формулы (9) при различных состояниях $\frac{T_1}{T_2}$:

$$1 - \frac{T_1}{T_2} = 1; \quad 2 - \frac{T_1}{T_2} = 2; \quad 3 - \frac{T_1}{T_2} = 3; \quad 4 - \frac{T_1}{T_2} = 10; \quad 5 - T_1 = T_a; \quad T_2 = 0$$

Из графиков, представленных на рисунке, видно, что при условии $K_p \approx \text{const}$ наиболее эффективным является ячеистый аэротенк, состоящий из ряда ячеек равного объема, при этом $T_1 = T_2 = T_n$.

Полученный вывод справедлив при соблюдении $K_p = K_{pi} \approx \text{const}$ во всех отделениях ячеистого аэротенка.

Возможности интенсификации работы аэротенка-смесителя, работающего в режиме полной биологической очистки за счет гидравлического секционирования, можно проиллюстрировать на примере аэротенка компактной установки заводского изготовления типа КУ-200.

Аэрационный объем аэротенка установки КУ-200 составляет $W_a = B_a \cdot L_a \cdot H_a = 6 \cdot 6 \cdot 2,7 = 97 \text{ м}^3$. Расчетная суточная производительность установки КУ-200 в процессе полной биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод $Q_{\text{сут}} = 200 \text{ м}^3$.

Среднечасовой расход сточных вод, подаваемых на установку,

$$Q_{\text{сч}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{24} = \frac{200}{24} = 8,3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Период аэрации хозяйственно-бытовых сточных вод

$$T_a = \frac{W_a}{Q_{\text{сч}}} = \frac{97}{8,3} = 11,7 \text{ ч}.$$

Концентрация органических загрязнений БПК_{полн} на входе в аэротенк-смеситель $L_{\text{вх}}=250$ мг/л, на выходе из аэротенка-смесителя $L_{\text{вых}}=15$ мг/л. Расчетная доза ила, обеспечивающая величину периода аэрации $T_a = 11,7$ ч, составляет $a=1,3$ г/л. Зольность ила $S = 0,3$.

Величина удельной окислительной мощности аэротенка установки КУ-200 ОМ, кг/м³·сут, при этих условиях составит

$$\text{ОМ} = \frac{Q_{\text{сут}} (L_{\text{вх}} - L_{\text{вых}})}{1000 \cdot W_a} = \frac{200(250 - 15)}{1000 \cdot 97} = 0,485 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{сут}.$$

В первом приближении аэрационный объем установки КУ-200 делится на четыре равные части и принимается условие $K_p = K_{pi} \approx \text{const}$, тогда

$$L_{\text{вых}} = \frac{L_{\text{вх}}}{(1 + K_p T_y)^4},$$

где T_y – продолжительность очистки сточных вод в одной ячейке, ч.

$$T_y = \frac{T_a}{4} = \frac{11,6}{4} = 2,9 \text{ ч}.$$

$$K_p = \left[\left(\frac{L_{\text{вх}}}{L_{\text{вых}}} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] \cdot \frac{1}{T_y} = \left[\left(\frac{250}{15} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] \cdot \frac{1}{2,9} = 0,352 \text{ ч}^{-1}.$$

Расчетные концентрации органических загрязнений в ячейках секционированного аэротенка-смесителя определяются, как

$$L_{\text{вых1}} = \frac{L_{\text{вх}}}{1 + K_p T_y} = \frac{250}{1 + 0,352 \cdot 2,9} = 124 \text{ мг/л};$$

$$L_{\text{вых}2} = \frac{L_{\text{вых}1}}{1 + K_p T_{\text{я}}} = \frac{124}{1 + 0,352 \cdot 2,9} = 61 \text{ мг/л};$$

$$L_{\text{вых}3} = \frac{L_{\text{вых}2}}{1 + K_p T_{\text{я}}} = \frac{61}{1 + 0,352 \cdot 2,9} = 30 \text{ мг/л};$$

$$L_{\text{вых}4} = \frac{L_{\text{вых}3}}{1 + K_p T_{\text{я}}} = \frac{30}{1 + 0,352 \cdot 2,9} = 15 \text{ мг/л}.$$

Поскольку в ячейках аэротенка в иловой смеси аэрационного объема наблюдаются различные концентрации органических загрязнений ($L_{\text{вых}1} > L_{\text{вых}2} > L_{\text{вых}3} > L_{\text{вых}4}$), то удельные скорости окисления органических загрязнений беззольным веществом активного ила ρ также будут иметь различные значения.

В [4] на основе представлений о бисубстратной ферментативной реакции с двух-тактным замещением фермента была получена формула, описывающая зависимость величины удельной скорости окисления ρ , мг/(г·ч), от концентраций органических загрязнений L , мг/л, и кислорода в иловой смеси C_O , мг/л.

В окончательном виде математическая зависимость, описывающая изменение величины ρ , была представлена в виде формулы [2]

$$\rho = \rho_{\text{max}} \cdot \frac{L_{\text{вых}} \cdot C_O}{L_{\text{вых}} \cdot C_O + K_1 \cdot C_O + K_O \cdot L_{\text{вых}}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a}, \quad (12)$$

где ρ_{max} – максимальная скорость окисления органических загрязнений беззольным веществом активного ила, мг/(г·ч); C_O – концентрация растворенного кислорода воздуха в иловой смеси, мг/л; K_1 – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг/л; K_O – константа, характеризующая влияние на процесс биологической очистки растворенного кислорода, мг/л; $L_{\text{вых}}$ – концентрация органических загрязнений на выходе из аэротенка-смесителя, мг/л; a – доза активного ила, принимаемая с учетом эффективности работы вторичных отстойников, г/л; φ – коэффициент ингибирования процесса биологической очистки продуктами распада активного ила, л/г.

Для хозяйственно-бытовых сточных вод: $\rho_{\text{max}} = 85$ мг/г·ч; $K_L = 33$ мг/л; $K_O = 0,625$ мг/л; $\varphi = 0,07$ л/г.

Принимаем величину концентрации кислорода в иловой смеси $C_O = 2$ мг/л, тогда в соответствии с формулой (12):

$$\rho_1 = 49,4 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}; \rho_2 = 42,0 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}; \rho_3 = 32,3 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}; \rho_4 = 22,2 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}.$$

Продолжительность окисления органических загрязнений активным илом в ячейках аэротенка в соответствии с формулой (3) составит:

$$T_1 = 2,8 \text{ ч}; T_2 = 1,7 \text{ ч}; T_3 = 1,1 \text{ ч}; T_4 = 0,7 \text{ ч}.$$

Реальные величины констант скорости реакции биохимического окисления органических загрязнений активным илом в ячейках аэротенка, вычисленные в соответствии с формулой (6), составят:

$$K_{p1} = 0,363 \text{ ч}^{-1}; K_{p2} = 0,608 \text{ ч}^{-1}; K_{p3} = 0,939 \text{ ч}^{-1}; K_{p4} = 1,429 \text{ ч}^{-1}.$$

Полученные параметры ячеистого аэротенка позволяют обеспечить условие минимизации отношения $\frac{L_{\text{ВЫХ}}}{L_{\text{ВХ}}}$:

$$K_1 T_1 = K_2 T_2 = K_3 T_3 = K_4 T_4 = \text{const}.$$

Общая продолжительность очистки сточных вод в ячеистом аэротенке

$$T_{\text{ая}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 2,8 + 1,7 + 1,1 + 0,7 = 6,3 \text{ ч}.$$

Среднечасовой расход сточных вод, подаваемых в ячеистый аэротенк,

$$Q_{\text{с.ч.я}} = \frac{W_a}{T_{\text{ая}}} = \frac{97}{6,3} = 15,4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$\bar{Q} = \frac{Q_{\text{с.ч.я}}}{Q_{\text{с.ч}}} = \frac{15,4}{8,4} = 1,8 \text{ раз}.$$

Расчетная суточная производительность аэротенка установки КУ-200 после секционирования его объема может быть увеличена до

$$Q_{\text{сут}} = \bar{Q} \cdot Q_{\text{сут}} = 1,8 \cdot 200 = 360 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Окислительная мощность аэротенка установки КУ-200 в результате секционирования его аэрационного объема увеличится до

$$\text{ОМ} = \frac{Q_{\text{сут.я}}(L_{\text{ВХ}} - L_{\text{ВЫХ}})}{1000 \cdot W_a} = \frac{360(250 - 15)}{1000 \cdot 97} = 0,872 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{сут}.$$

Таким образом, секционирование аэрационного объема аэротенка-смесителя в рассматриваемом случае позволит повысить его производительность в 1,8 раза.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Новая технология интенсификации работы станций биологической очистки сточных вод с использованием перемешивающих эрлифтных устройств / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С. 90–98.
2. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М: ЦИТП, 1986. – 72 с.

References

1. Andreev, S.Y. New technology of a intensification of work stations of biological purification of waste water using a mixing airlift device / S.Y. Andreev, B.M. Grishin, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2012. – №1. – P. 90–98.
2. Building Regulations: SNiP 2.04.03-85. Sewerage. External networks and facilities. – М.: TSITP, 1986. – 72 p.

УДК 628.3

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Камбург Владимир Григорьевич, доктор
технических наук, профессор кафедры
«Информационно-вычислительные
системы»
E-mail: kamburg@rambler.ru

Князев Владимир Александрович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Kamburg Vladimir Grigorievich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Information and computing
systems»
E-mail: kamburg@rambler.ru

Knyazev Vladimir Aleksandrovich,
Postgraduate student of the department
«Water supply, sewerage and hydraulic
engineering»

ФЛОТАЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.Г. Камбург, В.А. Князев

Приведены результаты исследований процессов гидродинамического диспергирования газовой фазы водовоздушной смеси установок флотационной очистки производственных сточных вод. Приводится соотношение для определения степени дисперсности водовоздушной смеси, прошедшей гидромеханическую обработку при различных уровнях диссипации энергии.

Ключевые слова: гидродинамическое диспергирование, газовая фаза, степень дисперсности, диссипация энергии, коэффициент поверхностного натяжения

FLOTATION TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER: MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES OF HYDRODYNAMIC DISPERSION OF GAS PHASE

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, V.G. Kamburg, V.A. Knyazev

The results of studies of hydrodynamic processes of dispersion of the gas phase of water-air mixture in the flotation plants for treating industrial wastewater are given. The ratio to determine the degree of dispersion of the water-air mixture, after held hydromechanical processing at different levels of power dissipation is presented.

Keywords: hydrodynamic dispersion, gas phase, degree of dispersion, energy dissipation, surface tension

В настоящее время широкое распространение получили флотационные методы очистки производственных сточных вод. Флотационные методы отделения из сточных вод мелкодисперсных загрязнений в отличие от гравитационных методов мало зависят от седиментационных свойств отделяемых частиц. Эффективность этих методов определяется величиной гидравлической крупности образующихся флотокомплексов «пузырек воздуха – дисперсная частица», что позволяет существенно интенсифицировать процесс флотационной очистки [1, 2].

На локальных канализационных очистных сооружениях промышленных предприятий в настоящее время с успехом используются флотационные установки с гидродинамическим диспергированием газовой фазы водовоздушной смеси. Гидродинамическое диспергирование газовой фазы в воде предусматривает активное перемешивание водовоздушной смеси. Степень дисперсности пузырьков воздуха, образующихся в процессе перемешивания, будет тем выше, чем интенсивнее будет происходить относительное перемещение газовой и жидкой фаз и чем меньше будет величина поверхностного натяжения на границе раздела фаз «воздух – жидкость». Перемещение газовой фазы (пузырьков воздуха) относительно жидкой фазы (воды) происходит под действием турбулентных пульсаций скорости движения потока водовоздушной смеси, образующейся в процессе перемешивания.

При воздействии на пузырек воздуха диаметром d_{Π} турбулентной пульсации потока, масштаб которой λ сопоставим с размерами пузырька ($\lambda \approx d_{\Pi}$), он будет перемещаться относительно жидкости со скоростью v_{Π} и испытывать действие силы гидродинамического давления $F_{Гд}$:

$$F_{Гд} = \frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} \xi \frac{v_{\Pi}^2}{2} \rho, \text{ Н}, \quad (1)$$

где ξ – коэффициент гидродинамического сопротивления.

В процессе перемещения на пузырек воздуха также будет действовать сила поверхностного натяжения $F_{пн}$:

$$F_{пн} = \pi d_{\Pi}^2 \Delta p_{\Pi} = \pi d_{\Pi}^2 \frac{4\sigma_{\Pi}}{d_{\Pi}} = 4\pi d_{\Pi} \sigma_{\Pi}, \text{ Н}. \quad (2)$$

Пузырек сохранит свою сферическую форму, если в процессе перемещения будет соблюдаться стационарный режим действия силы поверхностного натяжения, характеризующий стационарностью условий относительно действия силы поверхностного натяжения, при этом

$$F_{пн} > F_{Гд}, \text{ Н}. \quad (3)$$

В случае когда

$$F_{пн} \leq F_{Гд}, \text{ Н}, \quad (4)$$

пузырек воздуха будет деформироваться, в результате чего величина силы поверхностного натяжения $F_{пн}$ возрастет и скомпенсирует действие силы гидродинамического давления $F_{Гд}$. При некотором критическом значении v_{Π} действие силы гидродинамического давления не может быть скомпенсировано увеличением силы поверхностного натяжения за счет деформации пузырька воздуха, в результате чего произойдет его дробление.

Условием начала процесса деформации поверхности пузырька воздуха под действием турбулентных пульсаций потока масштабом λ будет

$$F_{пн} = F_{Гд}, \text{ Н}. \quad (5)$$

Величина элементарной работы, совершаемой против действия силы поверхностного натяжения, может быть определена как

$$\Delta A_{пн} = F_{пн} \Delta l, \text{ Дж}, \quad (6)$$

где Δl – элементарное перемещение пузырька воздуха относительно жидкости (м).

При продолжительности перемещения пузырька воздуха Δt , с, со скоростью v_{Π} , м/с

$$\Delta l = v_{\Pi} \Delta t, \text{ м}, \quad (7)$$

тогда

$$\Delta A_{\text{пн}} = F_{\text{пн}} v_{\Pi} \Delta l, \text{ Дж}. \quad (8)$$

Элементарная мощность при перемещении пузырька воздуха на расстояние Δl может быть определена как

$$\Delta N_{\text{пн}} = \frac{\Delta A_{\text{пн}}}{\Delta T} = \frac{F_{\text{пн}} v_{\Pi} \Delta l}{\Delta T} = \frac{4\pi d_{\Pi} \sigma_{\Pi} v_{\Pi} \Delta T}{\Delta T} = 4\pi d_{\Pi} \sigma_{\Pi} v_{\Pi}, \text{ Вт}; \frac{\text{Дж}}{\text{с}}. \quad (9)$$

Величина удельной секундной диссипации энергии при этом составит

$$\varepsilon_T = \frac{\Delta N_{\Pi}}{\Delta m}, \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}. \quad (10)$$

Масса элементарного объема жидкости, перемешиваемой пузырьком воздуха диаметром d_{Π} при его элементарном перемещении Δl ,

$$\Delta m = \frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} \Delta l \rho = \frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} v_{\Pi} \Delta T \rho, \text{ кг}, \quad (11)$$

тогда

$$\varepsilon_T = 4\pi d_{\Pi} \sigma_{\Pi} v_{\Pi} \cdot \frac{4}{\pi d_{\Pi}^2 \rho v_{\Pi} \Delta T} = 16 \frac{\sigma_{\Pi}}{d_{\Pi} \rho \Delta T}, \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}. \quad (12)$$

Величина элементарной энергии силы поверхностного натяжения может быть определена как

$$\Delta E_{\text{пн}} = \pi d_{\Pi}^2 \sigma_{\Pi}, \text{ Дж}, \quad (13)$$

тогда

$$\Delta T = \frac{E_{\Pi}}{\Delta N_{\text{пн}}} = \pi d_{\Pi}^2 \sigma_{\Pi} \cdot \frac{1}{4\pi d_{\Pi} \sigma_{\Pi} v_{\Pi}} = \frac{1}{4} \frac{d_{\Pi}}{v_{\Pi}}, \text{ с}. \quad (14)$$

В [3] было предложено определить величину ΔT (время экспозиции) как:

$$\Delta T = \frac{d_{\Pi}}{v_{\Pi}}, \text{ с}. \quad (15)$$

Формула (15) была получена Р. Хигби на основе теории подобия без проведения термодинамического анализа. По нашему мнению, в данном случае было бы корректно использовать в качестве линейного размера пузырька воздуха не величину диаметра его поперечного сечения максимальной площади d_{Π} , м, а величину его гидравлического радиуса R_{Π} , представляющего собой отношение максимальной площади поперечного сечения ω_{Π} , м², к величине смоченного периметра этого сечения χ_{Π} , м:

$$R_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{\chi_{\Pi}} = \frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} \cdot \frac{1}{\pi d_{\Pi}} = \frac{d_{\Pi}}{4}, \text{ м}. \quad (16)$$

Подставляя формулу (14) в формулу (12), получим

$$\varepsilon_T = 16 \frac{\sigma_{\Pi}}{d_{\Pi\rho}} \cdot \frac{4v_{\Pi}}{d_{\Pi}} = 64 \frac{\sigma_{\Pi}}{d_{\Pi\rho}^2} v_{\Pi}, \text{ Вт/кг}, \quad (17)$$

откуда

$$\varepsilon_T^2 = 4098 \frac{\sigma_{\Pi}^2}{d_{\Pi}^4 \rho^2} v_{\Pi}^2, \text{ Вт}^2/\text{кг}^2. \quad (18)$$

Из (1), (2) и (5) имеем

$$\frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} \rho \xi \frac{v_{\Pi}^2}{2} = 4\pi d_{\Pi} \sigma_{\Pi}, \quad (19)$$

откуда

$$v_{\Pi}^2 = \frac{32}{d_{\Pi}} \cdot \frac{\sigma_{\Pi}}{\rho \xi}, \text{ м}^2/\text{с}^2. \quad (20)$$

Подставляя формулу (19) в формулу (18), имеем

$$\varepsilon_T^2 = \frac{131072}{\xi} \cdot \frac{\sigma_{\Pi}^3}{d_{\Pi}^5 \rho^3}, \text{ Вт}^2/\text{кг}^2, \quad (21)$$

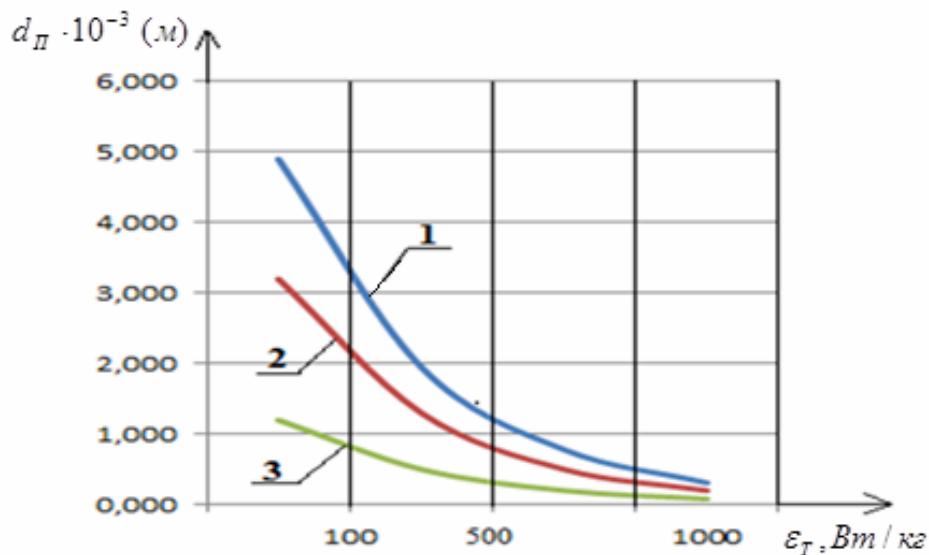
откуда

$$d_{\Pi} = K_{\text{гд}} \left(\frac{\sigma_{\Pi}^3}{\varepsilon_T^2 \rho^3} \right)^{1/5}, \text{ м}, \quad (22)$$

где $K_{\text{гд}}$ – коэффициент, зависящий от гидродинамических условий, при которых осуществляется процесс диспергирования водовоздушной смеси, $K_{\text{гд}} = \left(\frac{131072}{\xi} \right)^{1/5}$.

В соответствии с рекомендациями [4] $K_{\text{гд}} = 3/2$.

На рисунке представлены графики зависимостей среднего диаметра пузырьков воздуха d_{Π} в водовоздушной смеси, подвергнутой механическому диспергированию, от величины удельной секундной диссипации энергии ε_T при различных значениях коэффициента поверхностного натяжения неискривленной поверхности раздела фаз «жидкость – газ» $\sigma_{\text{жг}}$, полученные с использованием формулы (20).



Графики зависимостей среднего диаметра пузырьков воздуха d_{Π} в водовоздушной смеси, подвергнутой механическому диспергированию, от величины удельной секундной диссипации энергии ε_T при различных значениях коэффициента поверхностного натяжения неискривленной поверхности раздела фаз «жидкость – газ» $\sigma_{\text{жг}}$:

1 – $\sigma_{\text{жг}}=0,073 \text{ Дж/м}^2$; 2 – $\sigma_{\text{жг}}=0,035 \text{ Дж/м}^2$; 3 – $\sigma_{\text{жг}}=0,007 \text{ Дж/м}^2$

Данные, представленные на рисунке, свидетельствуют о том, что получить водовоздушную смесь со средним диаметром пузырьков воздуха d_n менее 100 мкм в процессе ее механического диспергирования возможно лишь при величине удельной секундной диссипации энергии $\epsilon_t > 500$ Вт/кг.

Наряду с процессами, протекающими в объеме газожидкостной смеси, существенную роль при диспергировании пузырьков воздуха играют и явления, имеющие место на границе раздела фаз «жидкость – твердая поверхность». Основное влияние на интенсивность процесса диспергирования при этом оказывают характеристики пограничного слоя, которые зависят от условий течения перемешиваемой среды в непосредственной близости к межфазовой поверхности. Использование технологического приема, предусматривающего взаимодействие вращающегося ротора, поверхность которого покрыта силикатной эмалью, с потоком водовоздушной смеси, имеющим большую начальную кинетическую энергию, позволит достичь высокой плотности энергии в локальной пристеночной области предлагаемого роторно-диспергирующего устройства, что приведет к существенному интенсифицированию процесса диспергирования смеси.

В связи с этим требуется разработка оригинальной конструкции роторно-диспергирующего устройства, позволяющего диспергировать до требуемого уровня водовоздушную смесь, подаваемую в данное устройство.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Теоретические основы процессов генерации динамических двухфазных систем вода-воздух и их использование в технологиях очистки воды / С.Ю. Андреев. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 194 с.
2. Кинетические закономерности процесса флотации из сточных вод без инерционных дисперсных частиц / С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, А.М. Исаева, А.А. Петрунин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №3. – С.181.
3. Higbie, R. The rate of absorption of a pure gas into a still liquid during short periods of exposure / R. Higbie // Trans. Am. Inst. Chem. Eng. – 1935. – V. 31. – 365 p.
4. Смирнов, А.М. Локальная очистка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий методом напорной флотации: дис. канд. техн. наук: 05.21.03 / А.М. Смирнов. – СПб., 2004. – 154 с.

References

1. Andreev, S.Y. Theoretical basis of generation of dynamic air-water two-phase systems and their use in water treatment technologies / S.Y. Andreev. – Penza: PGUAS, 2005. – 194 p.
2. Kinetics of flotation process of wastewater without inertial dispersed particles / S.Y. Andreev, I.A. Garkina, A.M. Isaeva, A.A. Petrunin // Regional architecture and engineering. – 2014. – No. 3. – P.181.
3. Higbie R. The rate of absorption of a pure gas into a still liquid during short periods of exposure / R. Higbie // Trans. Am. Inst. Chem. Eng. – 1935. – V. 31. – 365 p.
4. Smirnov, A.M. Local waste water treatment of pulp and paper mills by pressure flotation: Dis. cand. tehn. Sciences: 05.21.03 / A.M. Smirnov. – SPb., 2004. – 154 p.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Гришин Борис Михайлович,

доктор технических наук, профессор, зав.
кафедрой «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Бикунова Марина Викторовна,

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

Камбург Владимир Григорьевич,

доктор технических наук,
профессор кафедры «Информационно-
вычислительные системы»

Кошев Александр Николаевич,

доктор химических наук,
профессор кафедры «Информационно-
вычислительные 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

Grishin Boris Mikchailovich,

Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Bikunova Marina Viktorovna,

Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Water supply, sewerage
and hydraulic engineering»

Kamburg Vladimir Grigoryevich,

Doctor of Sciences, Professor of the
department «Information and computing
systems»

Koshev Alexander Nikolaevich,

Doctor of Chemistry Science,
Professor of the department «Information
and computing systems»

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, В.Г. Камбург, А.Н. Кошев

Рассмотрены конструкции вихревых смесительных устройств, а также технологические схемы биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, в которых применяются данные устройства. Приведены результаты производственных испытаний, подтверждающие высокую эффективность работы вихревых смесительных устройств, позволяющих снизить энергозатраты на аэрацию при удалении из воды органических загрязнений в аэротенках.

Ключевые слова: хозяйственно-бытовые сточные воды, биологическая очистка, аэротенки, системы аэрации, вихревые смесительные устройства

BIOLOGICAL PURIFICATION OF MUNICIPAL WASTE WATER WITH THE USE OF VORTEX MIXING DEVICES

B.M. Grishin, M.V. Bikunova, V.G. Kamburg, A.N. Koshev

The constructions of vortex mixing devices and technological schemes of municipal waste water biological purification with application of vortex mixing devices are considered. Results of industrial tests confirm the high efficiency of vortex mixing devices operation, which allows to reduce energy expenditures for aeration during different organic pollutions removal from water in aerotanks.

Keywords: municipal waste water, biological purification, aerotanks, aeration systems, vortex mixing devices

Вихревые смесительные устройства (ВСУ) используются в схемах биологической очистки сточных вод для интенсификации массообменных процессов и активации окислительной способности гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов активного ила аэротенков.

1. Обработка возвратного ила аэротенков

Одной из актуальных задач, связанных с проблемами энергосбережения, является использование избыточной энергии потока возвратного активного ила, который перекачивается из вторичного отстойника в аэротенк с помощью рециркуляционных насосов. На существующих станциях биологической очистки стоков поток возвратного активного ила, как правило, подается центробежными насосами в иловую камеру для гашения избыточного напора, а затем с помощью самотечных трубопроводов и лотков распределяется по секциям блока аэротенков. Энергия потока возвратного ила в большинстве случаев достаточна для обеспечения его интенсивного смешения с воздухом в гидродинамических установках различных конструкций, что приводит к весьма значительному увеличению его биохимической активности. Дополнительная обработка возвратного ила физическими методами (в частности, электрическим током) позволяет ещё более интенсифицировать обменные процессы в его клетках и, в итоге, улучшить качество очистки сточных вод в аэротенке. Наибольший эффект использования избыточной энергии потока возвратного активного ила может быть достигнут при использовании ВСУ с наложением электрического поля или вихревых электрогидродинамических устройств (ЭГДУ), способных создавать оптимальные условия для смешения потоков иловой суспензии и воздуха в компактном объеме за счет использования центробежной силы [1].

Одной из перспективных конструкций ЭГДУ является устройство (рис. 1), корпус которого функционально разделен на две части, или зоны – организации вращательного движения иловой жидкости и подачи сжатого воздуха (верхняя зона между сечениями 1-1 и 2-2) и зоны смешения иловой жидкости с воздухом, где устанавливается центральный опорный стержень с дисками для турбулизации потока (нижняя часть ЭГДУ между сечениями 2-2 и 3-3).

Электрообработка иловой смеси производится на границе верхней и нижней зон, где начинается процесс интенсивного перемешивания двух фаз. Для обеспечения подачи более компактной струи на центральные диски в нижней части аппарата на границе раздела двух зон устраивается разделительная диафрагма 4. Устройство в верхней части ЭГДУ центрального стержневого электрода (катода) 8 позволяет создать высокую плотность тока при электрообработке иловоздушной смеси, а также существенно упростить конструкцию и облегчить эксплуатацию установки по сравнению с аналогами [2, 3]. Производственные испытания ЭГДУ проводились на КОС г. Заречный Пензенской области производительностью 30 тыс. м³/сут. Схема обработки возвратного ила аэротенков показана на рис. 2.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что:

– при БПК_{полн} очищенных сточных вод 180–220 мг/л использование ЭГДУ позволило обойтись без 33 %-й регенерации активного ила в аэротенке, что привело к существенной (до 25 %) экономии электроэнергии, потребляемой воздухоудувками системы аэрации;

– внедрение ЭГДУ на аэротенках КОС г. Заречный значительно улучшило (на 35–40 %) качество очистки сточных вод по органическим примесям, аммонийному азоту и фосфатам. Иловый индекс снизился на 15–20 % по сравнению с аэротенками, где не были установлены ЭГДУ.

Внедрение новой технологии обработки возвратного ила на аэротенках КОС г. Заречный Пензенской области позволило за счет сокращения сброса загрязняющих веществ в водоем достичь годового экономического эффекта на сумму более 560 тыс. руб. (в ценах 2015 г.).

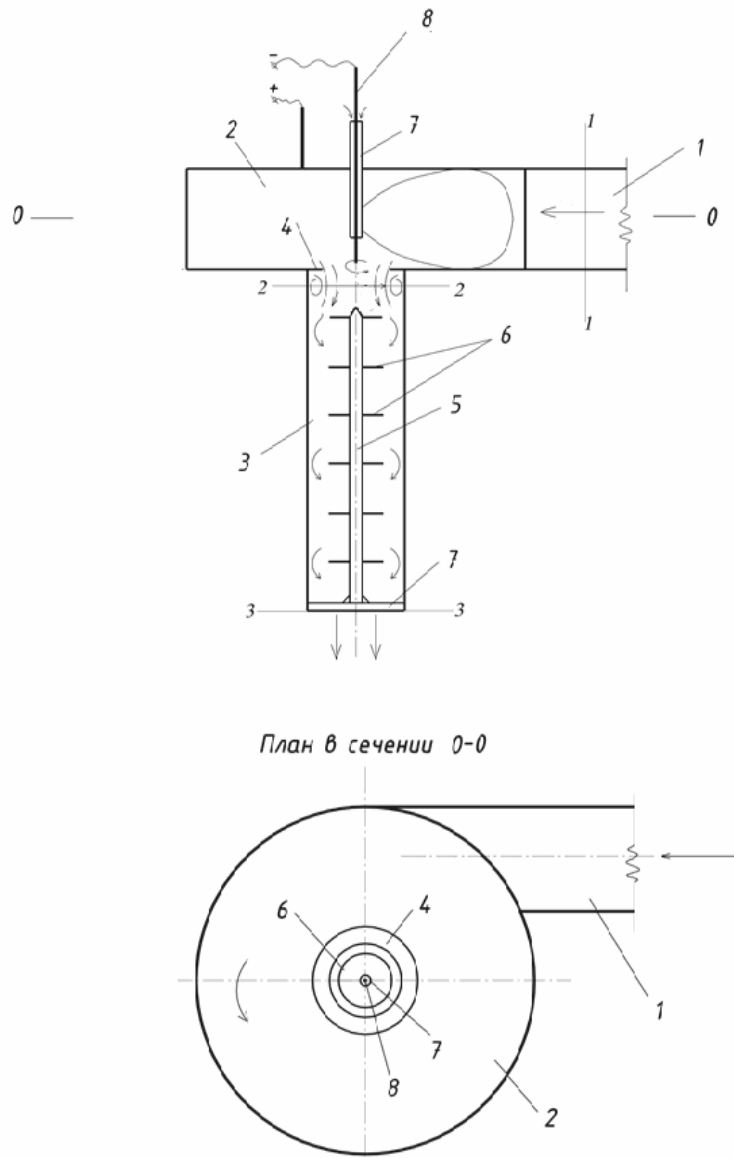


Рис. 1. Схема ЭГДУ для обработки возвратного ила:
 1 – подающий трубопровод; 2 – входная камера; 3 – ствол; 4 – разделительная диафрагма;
 5 – опорный стержень; 6 – внутренние диски; 7 – патрубок подачи сжатого воздуха;
 8 – центральный электрод

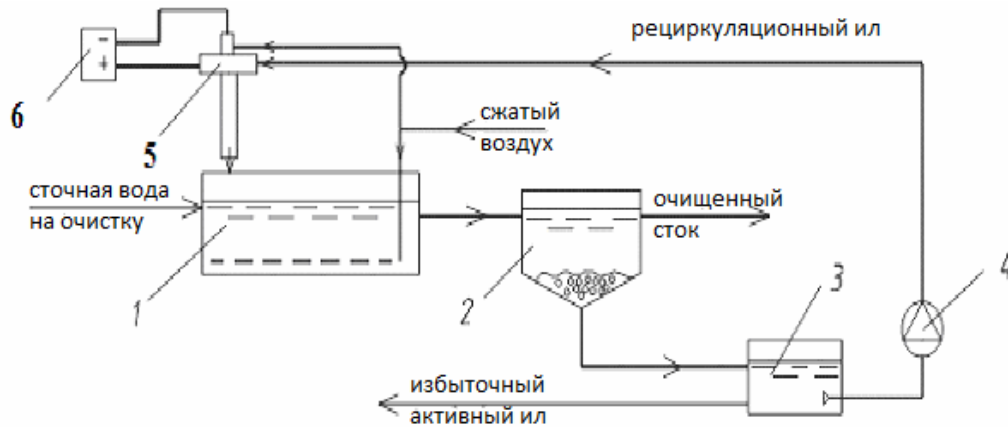


Рис. 2. Схема обработки возвратного ила аэротенков с ЭГДУ:
 1 – аэротенк; 2 – вторичный отстойник; 3 – иловый резервуар; 4 – рециркуляционный насос;
 5 – ЭГДУ; 6 – источник постоянного тока

2. Системы аэрации аэротенков

Система аэрации аэротенка определяет не только экономические показатели очистных сооружений, но и существенно влияет на процесс биологической очистки, так как от величины поддерживаемой концентрации растворенного кислорода и эффективности перемешивания иловой смеси во многом зависит степень окисления загрязняющих веществ.

Одним из наиболее рациональных способов поддержания высоких скоростей массообмена в аэрационном бассейне является дополнительное перемешивание иловой смеси, которое в большинстве случаев осуществляется при помощи энергоемких и сложных в эксплуатации механических мешалок. Данная функция может быть выполнена с помощью простого по конструкции ВСУ с эрлифтным эффектом или вихревого эрлифтного устройства (ВЭУ), схема которого показана на рис. 3.

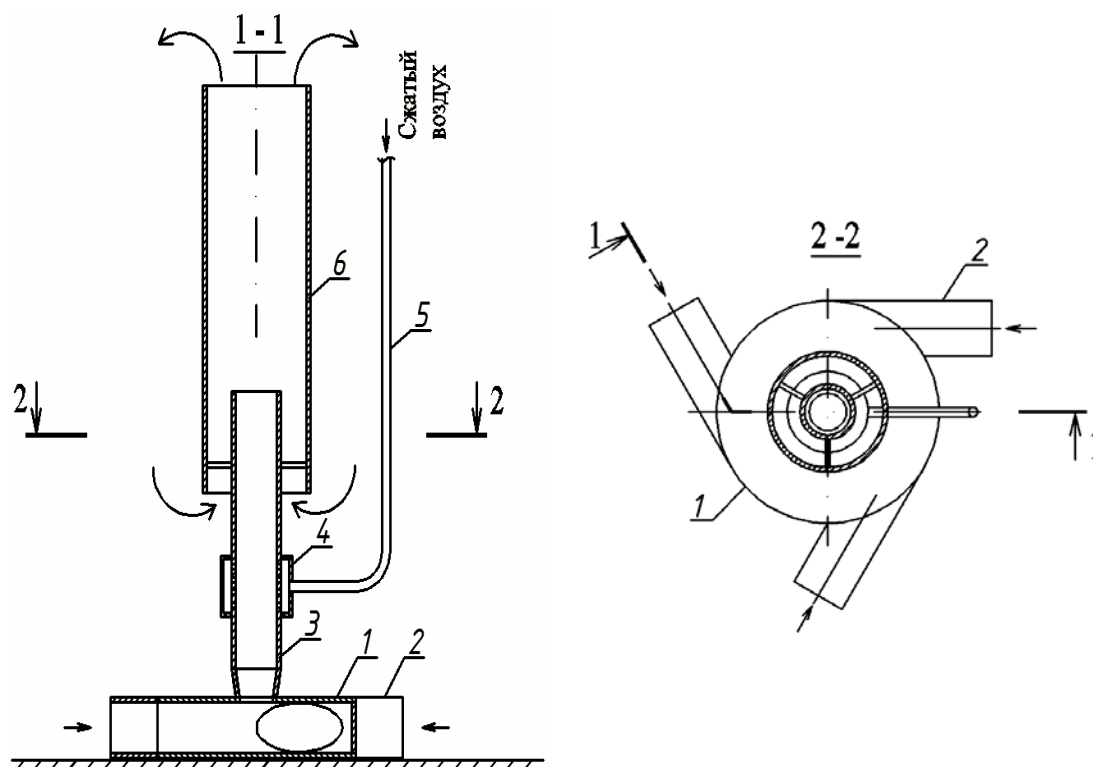


Рис. 3. Схема вихревого эрлифтного устройства (ВЭУ):

- 1 – камера входа; 2 – входной патрубок; 3 – ствол устройства; 4 – камера смешения;
5 – воздушный трубопровод; 6 – вихревая камера

Вихревое движение жидкости в данном устройстве позволяют создать входные патрубки (2), тангенциально присоединенные к камере входа (1). При переходе закрученного потока жидкости из камеры (1) в ствол устройства (3), имеющий меньший диаметр, угловая скорость вращения потока увеличивается. В вихревой камере (6) происходит дополнительное эжектирование и закручивание жидкости из аэрационного бассейна.

Замена механических мешалок вихревыми эрлифтными перемешивающими устройствами позволит устранить недостатки, присущие пневмомеханическим системам аэрации. Конструкция ВЭУ не содержит ни одной вращающейся детали, что существенно упрощает процесс их эксплуатации. Перемешивание жидкости в аэрационном бассейне при помощи ВЭУ осуществляется за счет энергии сжатого воздуха, отбираемого из системы штатной аэрации аэротенка (порядка 10–15 % от общего расхода). ВЭУ позволяет создать вращающийся восходяще-нисходящий поток жидкости в аэротенке, что обуславливает возникновение противотока газовой и жидкой фазы и повышает эффективность мелкопузырчатой системы аэрации [4–7].

Технология перемешивания аэрационного объема аэротенков вихревыми эрлифтными устройствами была апробирована на канализационных очистных сооружениях г.Каменка Пензенской области производительностью 8700 м³/сут.

Схема расстановки ВЭУ в аэротенке показана на рис. 4. Вращающиеся потоки жидкости в аэротенке создают вокруг ВЭУ гидравлические ячейки, между которыми возникает дополнительная турбулизация, улучшающая процесс переноса кислорода в клетки активного ила.

Внедрение ВЭУ позволило снизить удельный расход воздуха для системы аэрации аэротенков с 8,1 м³/м³ до 6,3 м³/м³ за счёт увеличения коэффициента использования кислорода воздуха и улучшения эффективности процесса аэрации в целом.

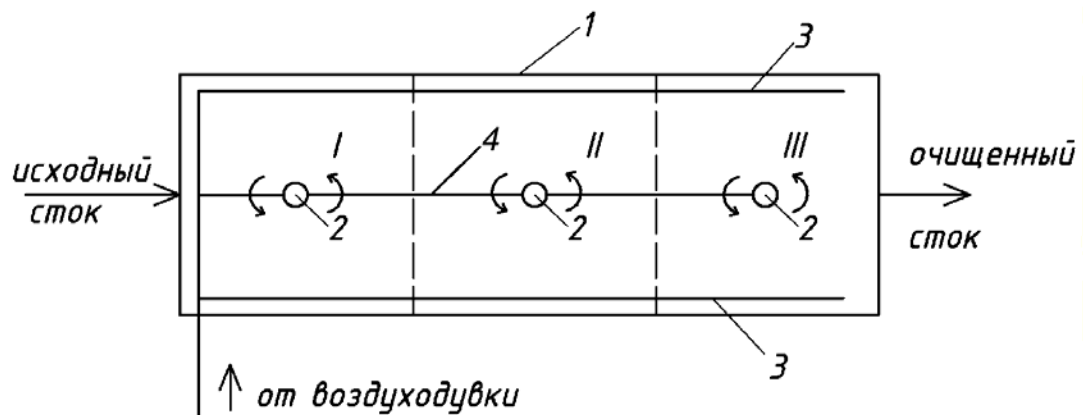


Рис. 4. Схема установки ВЭУ в аэротенке:

- 1 – аэротенк; 2 – ВЭУ; 3 – пористые трубы (штатная система аэрации);
4 – подвод воздуха к ВЭУ; I-III – гидравлические ячейки

Результаты, полученные от внедрения технологии перемешивания иловой смеси вихревыми эрлифтными устройствами на КОС г.Каменка, представлены в таблице.

Результаты внедрения технологии перемешивания иловой смеси вихревыми эрлифтными устройствами на КОС г.Каменка

№ п/п	Среднемесячные показатели	Концентрация загрязнений в сточных водах, поступающих на КОС, мг/л	Концентрация загрязнений в сточных водах на выходе с КОС до реконструкции, мг/л	Концентрация загрязнений в сточных водах на выходе с КОС после реконструкции, мг/л
1	Взвешенные вещества	215	17	10
2	БПК _{пол}	230	14	9
3	ХПК	300	42	34
4	NH ₄ ⁺	20	9	4,4
5	PO ₄ ³⁻	9	6	2,5
6	Иловый индекс		190	130

ВЫВОДЫ

1. Вихревые смесительные устройства позволяют существенно интенсифицировать массообменные процессы в системе «сточная вода – пузырьки воздуха – активный ил» применительно к аэротенкам городских канализационных очистных сооружений.

2. Использование вихревых смесительных устройств для обработки возвратного активного ила или в качестве элементов систем аэрации аэротенков приводит к снижению энергозатрат на 25–30 % по сравнению с типовыми схемами биологической

очистки сточных вод, обеспечивая при этом высокую эффективность удаления органических веществ и биогенных элементов.

Список литературы

1. Совершенствование работы сооружений биологической очистки сточных вод с использованием электрогидродинамических установок: монография / Б.М. Гришин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 128 с.
2. Устройство для обработки возвратного активного ила аэротенков: патент на изобретение RUS 2358913 24.09.2007. / Б.М. Гришин [и др.]; опубл. 20.06.2009. Бюл. №17.
3. Совершенствование конструкций электрогидродинамических устройств, используемых для обработки возвратного активного ила аэротенков / Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, М.В. Бикунова, С.В. Ишев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – №8. – С. 50–55.
4. Гришин, Б.М. Использование вихревых эрлифтных устройств в аэротенках / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, А.Н. Куленко // Молодой учёный. – 2015. – №4 (84). – С.157–161.
5. Интенсификация работы системы пневматической аэрации аэротенков с применением вихревых эрлифтных устройств / С.Ю. Андреев [и др.]// Водочистка. – 2012. – №5. – С. 6–13.
6. Новая технология интенсификация работы станций биологической очистки сточных вод с использованием перемешивающих эрлифтных устройств / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, И.А. Гарькина, А.Н. Кошев // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С. 90–98.
7. Высокоэффективные конструкции аэраторов пневматического типа для биологической очистки сточных вод: монография / Б.М. Гришин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 112 с.

References

1. Perfection of biological purification plants work with use electrical hydrodynamic device: monograph / B.M. Grishin [etc.]. – Penza: PGUAS, 2013. – 128 p.
2. Device for aerotanks return active sludge treatment: pat. Rus. 2358913 24.09.2007. / B.M. Grishin [etc.]; public. 20.06.2009. Bul. №17.
3. Perfection of electrical hydrodynamic devices constructions for aerotanks return active sludge treatment / B.M. Grishin, S.Yu. Andreev, M.V. Bikunova, S.V. Ishev // News of higher educational institutions Construction. – 2008. – №8. – P. 50–55.
4. Grishin, B.M. Use of vortex airlift devices in aerotanks / B.M. Grishin, M.V. Bikunova, A.N.Kulenko // Young scientist. – 2015. – №4 (84). – P. 157–161.
5. Aerotanks pneumatic aeration system work intensification with use vortex aerlift devices / S.Yu. Andreev [etc.] // Water purification. – 2012. – №5. – P. 6–13.
6. New technology of waste water biological purification plants work with use of agitation airlift devices / S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, I.A.Garkina, A.N. Koshev // Regional architecture and engineering. – 2012. – №1. – P. 90–98.
7. High efficient constructions of pneumatic type aeratovs for waste water biological treatment / B.M. Grishin [etc.]. – Penza: PGUAS, 2009. – 112 p.

Тольяттинский государственный университет

Россия, 445020, г. Тольятти,
ул. Белорусская, д. 14,
тел.: (8482) 53-92-78

Кучеренко Мария Николаевна,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Теплогазоснабжение,
вентиляция, водоснабжение и
водоотведение»
E-mail: kucherenk_maria@mail.ru

Кузнецов Евгений Петрович,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение,
вентиляция, водоснабжение и
водоотведение»
E-mail: evgeni-k1@yandex.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

Грейсукх Григорий Исаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Физика и химия»

Степанов Сергей Алексеевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Физика и химия»

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Информационно-
вычислительные системы»

Togliatti State University

Russia, 445020, Togliatti,
14, Belorusskaya St., 445667,
tel.: +7 (8482) 53-92-78

Kucherenko Maria Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Head of the
department «Heat and gas supply, ventilation,
water supply and sewerage»
E-mail: kucherenk_maria@mail.ru

Kyznetsov Evgeny Petrovich,
Postgraduate student of the department «Heat
and gas supply, ventilation, water supply and
sewerage»
E-mail: evgeni-k1@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

Greysukh Gregory Isaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Physics and Chemistry»

Stepanov Sergey Alekseevich,
Doctor of Physics and Mathematics, Professor
of the department «Physics and Chemistry»

Ezhov Evgeny Gregorievich,
Doctor of Physics and Mathematics, Professor
of the department « Information-computing
systems»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ХРАНИЛИЩ С УЧЁТОМ ДИНАМИКИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В СЛОЕ СЫРЬЯ

М.Н. Кучеренко, Е.П. Кузнецов, Г.И. Грейсукх, С.А. Степанов, Е.Г. Ежов

Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований процессов теплообмена в слое хранящейся биологически активной продукции. Определены количественные и качественные показатели переноса теплоты и влаги на основе теории потенциала влажности.

Ключевые слова: сельскохозяйственное хранилище, система вентиляции, сочное растительное сырье, потенциал влажности, микроклимат

DESIGN OF VENTILATION SYSTEMS FOR AGRICULTURAL STORAGE FACILITY BASED ON DYNAMICS OF HEAT AND MASS TRANSFER IN A LAYER OF RAW

M.N. Kucherenko, E.P. Kyznetsov, G.I. Greysukh, S.A. Stepanov, E.G. Ezhov

The results of analytical and experimental researches of heat and mass transfer processes in a layer of stored biologically active products are shown. The quantitative and qualitative indicators of heat and moisture transfer on the basis of humidity potential theory are defined.

Keywords: agricultural storage, ventilation system, lush vegetation raw, potential of moisture, microclimate

При проектировании и эксплуатации систем обеспечения микроклимата в хранилищах сельскохозяйственной продукции особую роль при выборе параметров подаваемого воздуха и режимов работы систем играет динамика процессов тепломассопереноса в слое. Характерной особенностью сочного растительного сырья как объекта хранения является наличие биологических тепло- и влаговыделений. Изменение температуры и относительной влажности воздуха в слое вызывает значительные отклонения параметров микроклимата от рекомендуемых норм, что порождает увядание или отпотевание сырья. Повышение сохранности сельскохозяйственной продукции возможно только за счет комплексного учета количественных и качественных показателей тепломассопереноса в слое хранящегося сырья. При этом нахождение закономерностей тепловлагообмена должно базироваться на наиболее общем термодинамическом подходе, позволяющем отказаться от анализа частных закономерностей.

По В.Н. Богословскому, наиболее полно расчет интенсивности взаимосвязанного тепломассообмена должен производиться на основе потенциала влажности, который позволяет учесть действие различных силовых факторов на влагу, находящуюся как в жидком, так и в парообразном состоянии. Значения потенциала влажности воздуха могут быть определены аналитически или графически с помощью $I-d-\theta$ -диаграммы [1].

Перенос явной и скрытой теплоты между продуваемым воздухом и продукцией происходит в одном направлении, что является основной особенностью тепломассопереноса в насыпи сочного растительного сырья.

Изменение тепловлажностной характеристики продуваемого воздуха приведено на $I-d-\theta$ -диаграмме (рис. 1). Воздух, поступая в насыпь, проходит через корректирующий слой, в котором он увлажняется до равновесных значений и одновременно нагревается до температуры нижней части основного слоя (процесс AB), при этом испаряющаяся влага способствует снижению температуры продукции. Потенциал влажности θ_A на входе в слой сырья определяется параметрами подаваемого в хранилище воздуха. Участок BC характеризует процесс изменения параметров продуваемого воздуха в основном слое, который эквидистантен соответствующему участку линии полного насыщения $\phi = 100\%$. Потенциал влажности воздуха на поверхности хранящейся растительной массы зависит от выделяемой в хранилищах влаги от дыхания. Воздух удаляется из насыпи с параметрами точки C (t_C , ϕ_C , θ_C , d_C). Когда вентиляция в хранилище выключена, температура продукции в верхнем слое может стать ниже, чем температура внутри основного слоя, что приведет к охлаждению воздуха и, возможно, конденсации влаги на поверхности сырья (процессы CD , CD_1).

Согласно теории потенциала влажности влагопоток W , г/ч, от насыпи сочного растительного сырья массой $G_{\text{мат}}$, т, к продувочному воздуху (процесс AC , см. рис. 1) равен

$$W = \alpha_0 (\theta_C - \theta_A) G_{\text{мат}}, \quad (1)$$

где θ_A , θ_C – начальный и конечный потенциалы влажности воздуха в слое продукции в процессе хранения, °В; α_0 – коэффициент влагопереноса, г/(т·ч·°В).

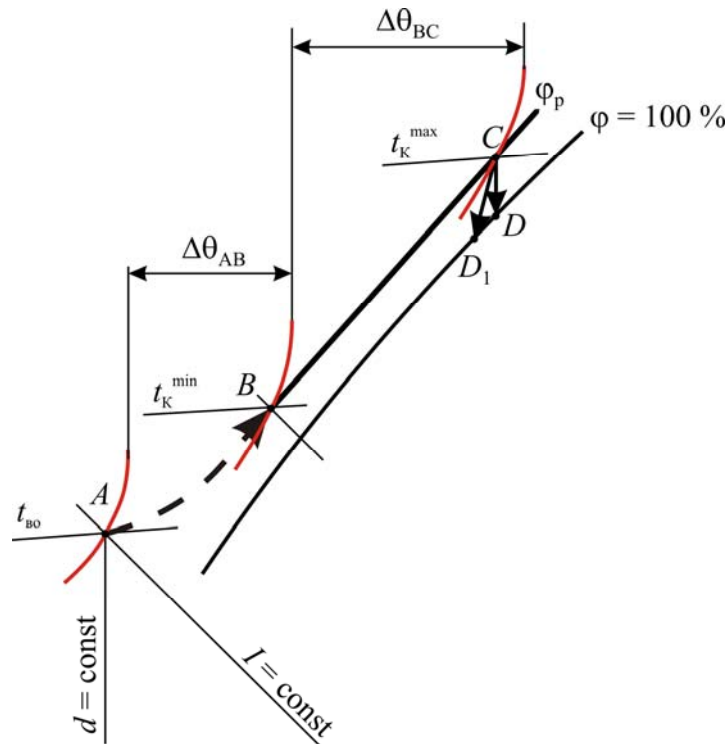


Рис. 1. Изменение состояния продуваемого воздуха в насыпи сочного растительного сырья

Для оценки динамики изменения потенциала влажности в слое хранящейся продукции были проведены натурные исследования при контейнерном хранении в картофелехранилище агрофирмы «Белозерки» Ставропольского района Самарской области. В середине хранилища были выбраны 24 контейнера с картофелем. В характерных зонах выбранных контейнеров и объема хранилища проводились замеры температуры и влажности на уровне середины высоты контейнера. Всего температура и влажность фиксировались в 36 точках. Измерения проводились один раз в две недели в основной период хранения (ноябрь – январь). На основании результатов проведенных замеров и уточненной $I-d-\theta$ -диаграммы построены поля потенциала влажности для каждого дня проведенных замеров (рис. 2).

Поля потенциала влажности имеют равномерный характер, что свидетельствует о правомерности применения понятия «потенциал влажности» и $I-d-\theta$ -диаграммы в расчете времени работы систем вентиляции. Значения потенциалов влажности θ в общем объеме хранилища изменяются в диапазоне от 14,0 до 21,9 °В в зависимости от геометрического расположения контейнеров. Наблюдается равномерный градиент возрастания потенциала влажности по высоте штабеля.

Полученная динамика изменения полей потенциала влажности позволяет рассматривать штабель контейнеров сочного растительного сырья как насыпь с равномерно распределенными по объему источниками теплоты и влаги.

На основании полученных полей потенциала влажности построен график изменения потенциала влажности по высоте хранящейся продукции (рис. 3). В результате аппроксимации получена зависимость, характеризующая потенциал влажности в зависимости от высоты слоя:

$$\theta = \frac{h + 9,37}{0,59}, \quad (2)$$

где h – высота слоя хранящейся продукции, м.

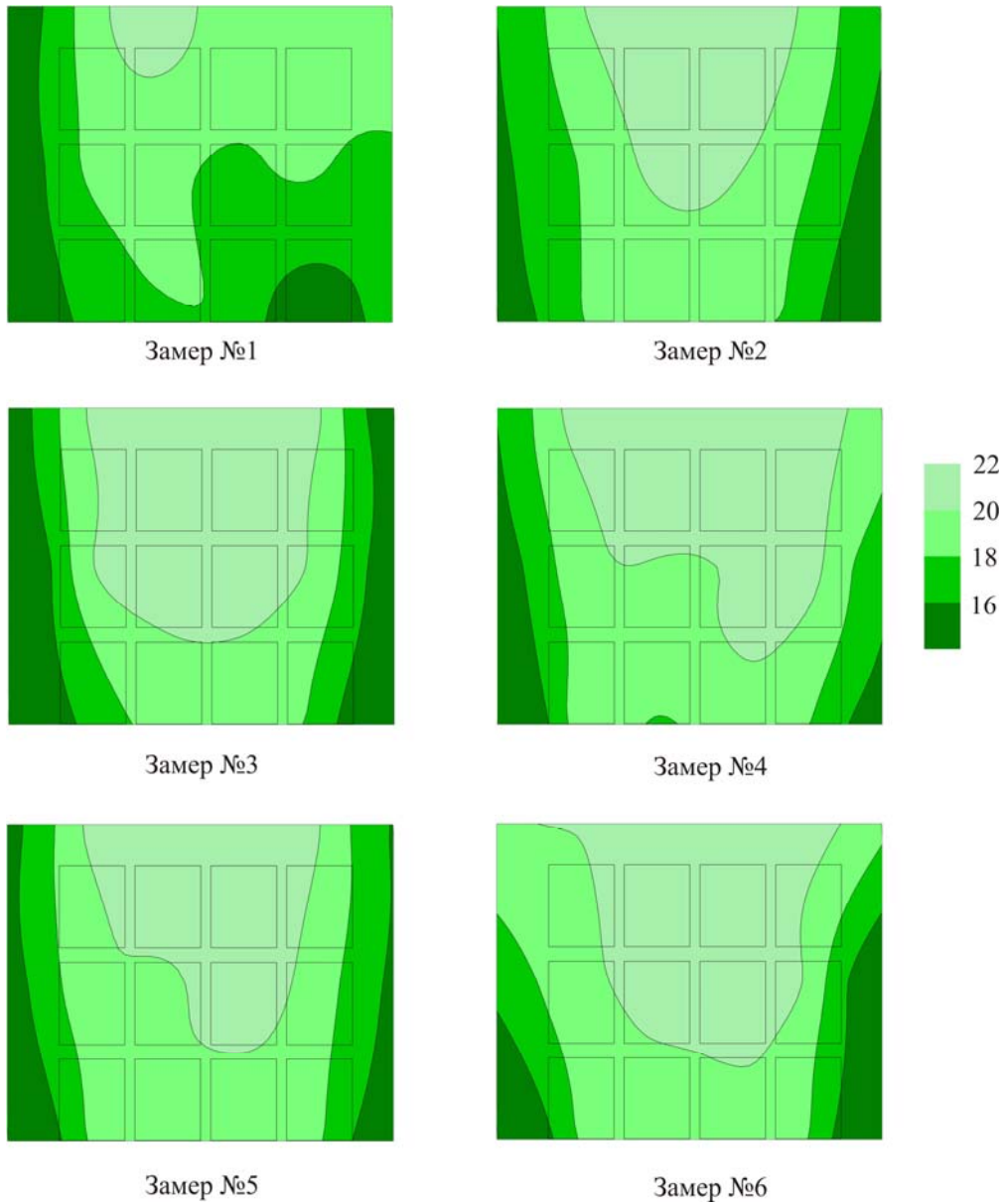


Рис. 2. Поля потенциала влажности в хранилище

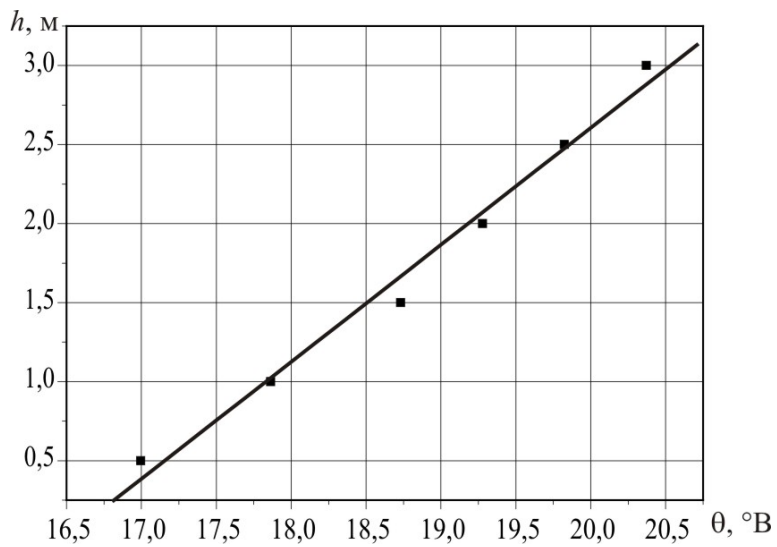


Рис. 3. Динамика изменения потенциала влажности по высоте слоя

Исходя из определения потока влаги с позиции теории потенциала влажности коэффициент массопереноса α_θ , г/(г·ч·°В), определяется выражением

$$\alpha_\theta = \frac{g_b (d_y - d_{b.o})}{\theta_y - \theta_{b.o}}, \quad (3)$$

где $\theta_{b.o}$ – начальный потенциал влажности подаваемого воздуха, °В; θ_y – потенциал влажности удаляемого из хранилища воздуха, °В; g_b – удельный расход воздуха, кг/(ч·т); $d_{b.o}$, d_y – влагосодержание подаваемого и удаляемого воздуха, г/кг.

На основании уточненной $I-d-\theta$ -диаграммы и полученных ранее экспериментальных данных [2] определена графическая зависимость коэффициента массопереноса α_θ от температуры и удельного расхода воздуха (рис. 4).

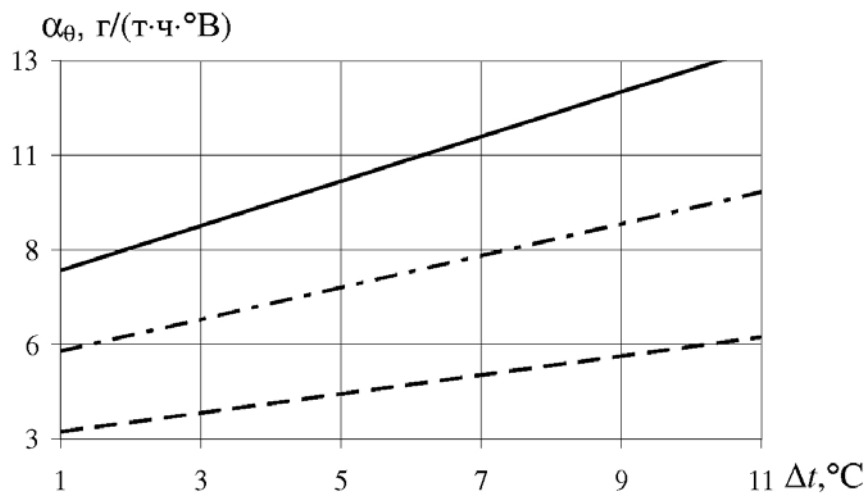


Рис 4. Значения коэффициента α_θ в слое СРС в зависимости от удельного расхода продувочного воздуха:
 ---- при $10 < g_b < 20$; - · - · - при $20 < g_b < 30$; — — — при $30 < g_b < 40$

Для аналитического определения коэффициента массопереноса α_θ с достаточной для инженерных расчетов степенью точности предложено использовать следующие выражения:

$$\text{при } 10 < g_b < 20 : \quad \alpha_\theta = 0,25 \cdot \Delta t + 2,94 ; \quad (4)$$

$$\text{при } 20 < g_b < 30 : \quad \alpha_\theta = 0,42 \cdot \Delta t + 4,9 ; \quad (5)$$

$$\text{при } 30 < g_b < 40 : \quad \alpha_\theta = 0,59 \cdot \Delta t + 6,86 , \quad (6)$$

где Δt – температурный перепад уходящего и поступающего воздуха, °С.

Существующие в настоящее время инженерные методики расчета параметров микроклимата в хранилищах сочного растительного сырья учитывают только температурный режим насыпи [3].

Необходимое для достижения максимальной сохранности продукции время работы системы обеспечения параметров микроклимата в течение суток составляет

$$K_{в.вл}^\theta = \frac{W}{\alpha_\theta (\theta_y - \theta_{b.o}) G_{\text{мат}}}, \quad (7)$$

где $K_{в.вл}^\theta$ – коэффициент, характеризующий время включения системы вентиляции в течение суток в зависимости от влажностного режима насыпи; W – удельные влаговыделения продукцией, г/ч.

ВЫВОД

Учет динамики процессов тепломассопереноса при расчете режимов работы систем вентиляции при хранении биологического сырья позволяет скорректировать время работы систем вентиляции, что приводит к повышению сохранности продукции и сокращению затрат на обеспечение оптимальных параметров хранения.

Список литературы

1. Кучеренко, М.Н. Графоаналитические исследования $I-d-\theta$ -диаграммы влажного воздуха в области низких температур / М.Н. Кучеренко, Е.П. Кузнецов // Приволжский научный журнал. – 2012. – №2. – С.73–77.
2. Калашников, М.П. Обеспечение параметров микроклимата для хранения картофеля и овощей в условиях климата Восточной Сибири / М.П. Калашников. – Улан-Удэ: Препринт/ВСГТУ, 1999. – 252 с.
3. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений / В.И. Бодров [и др.]. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2008. – 623 с.

References

1. Kucherenko, M.N. Graphical and analytical research of the $I-d-\theta$ -diagram in the area of low temperatures / M.N. Kucherenko, E.P. Kuznetsov // Privolzhskiy scientific journal. – 2012. – №2. – P.73–77.
2. Kalashnikov, M.P. Provisio of microclimate parameters for the storage of potatoes and vegetables in East Siberia / M.P. Kalashnikov. – Ulan-Ude: Preprint/ ESSTU, 1999. – 252 p.
3. The microclimate of agricultural production buildings and structures / V.I. Bodrov [etc.]. – N.Novgorod, 2008. – 623 p.

УДК 697.922

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»

Мирошниченко Денис Сергеевич,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»

Грейсх Григорий Исаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Физика и химия»

Степанов Сергей Алексеевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Физика и химия»

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Информационно-
вычислительные 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

Gorshkov Valentin Ivanovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»

Miroshnichenko Denis Sergeevich,
Postgraduate student of the department «Heat,
gas supply and ventilation»

Greysukh Gregory Isaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Physics and Chemistry»

Stepanov Sergey Alekseevich,
Doctor of Physics and Mathematics, Professor
of the department «Physics and Chemistry»

Ezhov Evgeny Gregorievich,
Doctor of Physics and Mathematics, Professor
of the department « Information-computing
systems»

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ВЕТВЯЩАЯСЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

В. И. Горшков, Д. С. Мирошниченко, Г.И. Грейсх, С.А. Степанов, Е.Г. Ежов

Предложена методика прогнозирования постепенных и внезапных отказов вентиляционных систем, основанная на стохастической ветвящейся модели. Разработанная модель прогнозирования отказов позволяет учитывать замену и ремонт сборочных единиц в режиме непрерывного функционирования вентиляционной системы.

Ключевые слова: вентиляционная система, стохастическая ветвящаяся модель, прогнозирование отказов, интенсивность переходов, вероятность безотказной работы

STOCHASTIC BRANCHING MODEL PREDICTING FAILURE OF VENTILATION SYSTEMS

V.I. Gorshkov, D.S. Miroshnichenko, G.I. Greysukh, S.A. Stepanov, E.G. Ezhov

The paper proposes a method for predicting gradual or sudden failure of ventilation systems, based on stochastic branching system. Developed failure prediction model takes into account the replacement and repair of assembly units in the mode of continuous operation of a ventilation system.

Keywords: ventilation system, stochastic model of branching, prediction of failures, intensity of transitions, probability of failure-free operation

Вентиляционные системы в процессе эксплуатации требуют технического обслуживания и ремонта. Постепенный отказ сборочных единиц вентиляционных систем в течение времени эксплуатации приводит к их неравномерному распределению по группам деградации параметров [1]. Чем больше эксплуатируется система, тем большее количество элементов попадает в последнюю, 5-ю группу деградации. Для этой группы ухудшение характеристик сборочных единиц из-за износа и старения материалов наибольшее и является предельным. Вероятность внезапного отказа

элементов, находящихся в 5-й группе, наибольшая и по истечении некоторого времени будет доминирующей. В процессе эксплуатации сборочные единицы вентиляционных систем в определенные моменты времени подвергаются различным видам технического обслуживания: текущий ремонт сборочных единиц, средний ремонт сборочных единиц, замена сборочных единиц на новые единицы. Вероятность безотказной работы систем возрастает, увеличивается и дополнительный технический ресурс. В настоящее время отсутствуют апробированные методики определения дополнительного технического ресурса вентиляционных систем после технического обслуживания.

В стохастической ветвящейся модели техническое обслуживание вентиляционных систем моделируется путем введения дополнительных вероятностных переходов из групп с большой деградацией сборочных единиц в группы с более низкой деградацией.

Постепенный отказ сборочных единиц, ремонт, замена в расчетной схеме (рис.1) моделируется следующим образом.

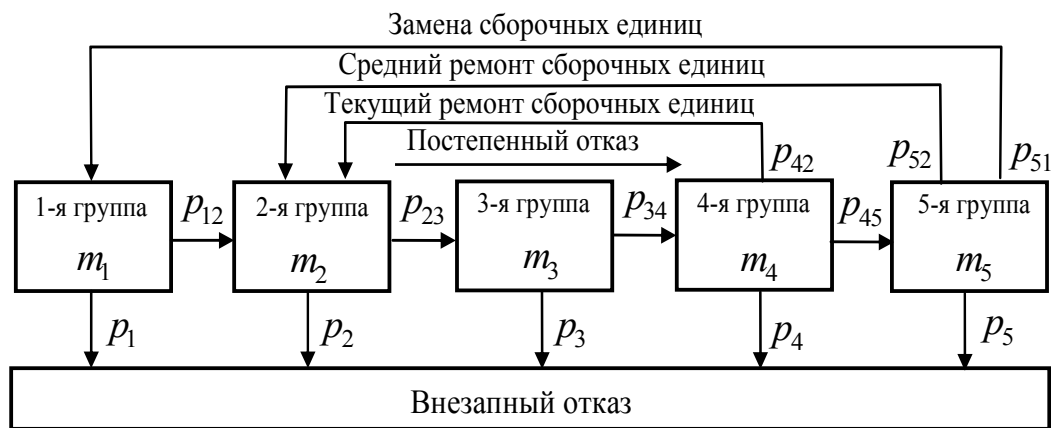


Рис. 1. Расчетная схема прогнозирования постепенных и внезапных отказов вентиляционной системы после технического обслуживания

За время Δt ($\Delta t \rightarrow 0$) с вероятностью $p_{i,j} = m_i \tilde{\alpha}_{i,j} \Delta t$ ($i, j = 1, 2, \dots, 5$) сборочная единица i -й группы переходит в j -ю группу за счет деградации ее параметров ($i < j$) или ремонта (замены на новый) ($i > j$). При этом в i -й группе количество элементов уменьшается на единицу, а $i + 1$ -й группе увеличивается на единицу.

Внезапный отказ элементов в расчетной схеме (см. рис. 1) моделируется следующим образом. За время Δt ($\Delta t \rightarrow 0$) с вероятностью $p_i = m_i \tilde{\beta}_i \Delta t$ ($i = 1, 2, \dots, 5$) параметры сборочной единицы i -й группы скачкообразно изменяются. При этом количество элементов, не имеющих отказа в i -й группе, уменьшается на единицу.

На рис. 2 показана структура вероятностных переходов стохастического ветвящегося процесса, составленная на основе расчетной схемы (см. рис.1). Количество сборочных единиц в группах является величиной случайной $\mu_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, 5$).

Состояние сборочных единиц вентиляционной системы описываем случайным 5-мерным вектором с координатами $\mu = (\mu_1(t), \mu_2(t), \dots, \mu_5(t))$. Вентиляционная система за время Δt переходит в одно из 12 состояний, показанных на рис. 2, или остается без изменения. Затем процесс повторяется и носит характер ветвления.

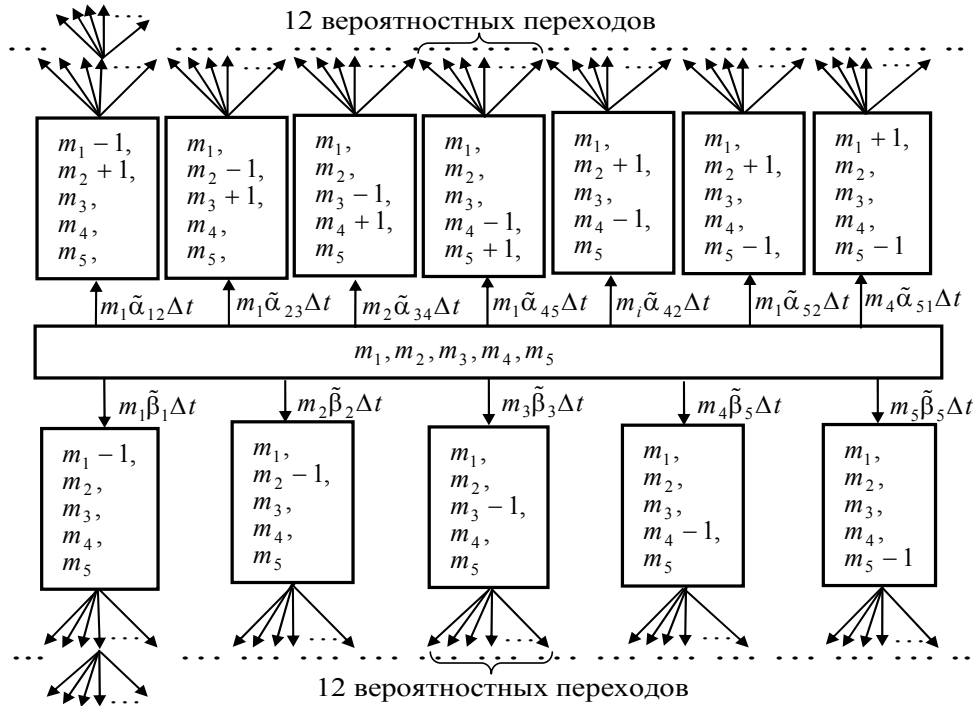


Рис. 2. Структура вероятностных переходов стохастического ветвящегося процесса технического обслуживания:

$\tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}$ – постепенный отказ; $\tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5$ – внезапный отказ; $\tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{52}, \tilde{\alpha}_{51}$ – замена или ремонт сборочных единиц

Вероятность $\tilde{P}_{m_1, m_2, \dots, m_5}(t)$ (вероятность того, что в момент времени t в 1-й группе находится m_1 элементов, во 2-й группе – m_2 , ..., в 5-й группе – m_5) определяется из структуры вероятностных переходов стохастического ветвящегося процесса (см. рис. 2). Используя методику прогнозирования постепенных и внезапных отказов вентиляционных систем, получаем для стохастического ветвящегося процесса систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{P}(t; \mu_1(t) = m_1, \mu_2(t) = m_2, \dots, \mu_5(t) = m_5)}{dt} = & \\ = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 (m_i + 1) \delta_{ij} \tilde{\beta}_i \tilde{P}(t; \mu_1(t) = m_1, \dots, \mu_i(t) = m_i + 1, \dots, \mu_5(t) = m_5) + & \\ + (m_i + 1) \tilde{\alpha}_{i,j} \tilde{P}(t; \mu_1(t) = m_1, \dots, \mu_i(t) = m_i + 1, \mu_j(t) = m_j - 1, \dots, \mu_5(t) = m_5) - & \\ - (m_i \tilde{\alpha}_{i,j} + m_i \delta_{ij} \tilde{\beta}_i) \tilde{P}(t; \mu_1(t) = m_1, \mu_2(t) = m_2, \dots, \mu_5(t) = m_5), & \\ m_1 = 0, 1, 2, \dots, m, \quad m_2 = 0, 1, 2, \dots, m, \quad \dots \quad m_5 = 0, 1, 2, \dots, m, & \end{aligned} \quad (1)$$

где $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j. \end{cases}$

Начальные условия решения системы дифференциальных уравнений (1) определяются из начального состояния стохастической системы $\mu_0 = (\mu_1(0) = m_1^0, \mu_2(0) = m_2^0, \dots, \mu_5(0) = m_5^0)$ (в момент времени t в 1-й группе находится m_1^0 элементов, во 2-й группе – m_2^0 , ..., в 5-й группе – m_5^0):

$$\tilde{P}_{m_1, m_2, \dots, m_5}(0) = \begin{cases} 1, & \text{если } m_1 = m_1^0, m_2 = m_2^0, \dots, m_5 = m_5^0, \\ 0, & \text{если } m_1 \neq m_1^0, m_2 \neq m_2^0, \dots, m_5 \neq m_5^0. \end{cases} \quad (2)$$

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (1) сводится к дифференциальному уравнению в частных производных относительно производящей функции:

$$\frac{\partial \tilde{F}}{\partial t} = \sum_{i=1}^5 \left(\sum_{j=1}^5 \delta_{ij} \tilde{\beta}_i + \tilde{\alpha}_{i,j} x_j - (\tilde{\alpha}_{i,j} + \delta_{ij} \tilde{\beta}_i) x_i \right) \frac{\partial \tilde{F}}{\partial x_i}, \quad (3)$$

где $\tilde{F}(t; x_1, x_2, \dots, x_5) = \sum_{m_1=0}^{\infty} \sum_{m_2=0}^{\infty} \dots \sum_{m_5=0}^{\infty} x_1^{m_1} x_2^{m_2} \dots x_5^{m_5} \tilde{P}_{m_1, m_2, \dots, m_5}(t)$.

Решая уравнение в частных производных (3) с начальным условием (2), получаем аналитическое выражение для производящей функции:

$$\tilde{F}(t, x_1, x_2, \dots, x_5) = \prod_{i=1}^5 \left(\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^3 \tilde{M}_{ij} x_j \right)^{m_i^0}, \quad (4)$$

где $\tilde{N}_i, \tilde{M}_{ij}$ – соответственно компоненты вектора $\tilde{\mathbf{N}}$ и матрицы $\tilde{\mathbf{M}}$, которые определяются следующим образом:

$$\tilde{\mathbf{N}} = \tilde{\mathbf{A}}^{-1} \cdot (\tilde{\mathbf{D}} - \mathbf{I}) \cdot \mathbf{B}, \quad \tilde{\mathbf{M}} = \tilde{\mathbf{A}}^{-1} \cdot \tilde{\mathbf{D}} \cdot \tilde{\mathbf{A}}, \quad (5)$$

где \mathbf{I} – единичная матрица,

$$\tilde{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} -(\tilde{\beta}_1 + \tilde{\alpha}_{12}) & \tilde{\alpha}_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(\tilde{\beta}_2 + \tilde{\alpha}_{23}) & \tilde{\alpha}_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(\tilde{\beta}_3 + \tilde{\alpha}_{34}) & \tilde{\alpha}_{34} & 0 \\ 0 & \tilde{\alpha}_{42} & 0 & -(\tilde{\beta}_4 + \tilde{\alpha}_{45}) & \tilde{\alpha}_{45} \\ \tilde{\alpha}_{51} & \tilde{\alpha}_{52} & 0 & 0 & -\tilde{\beta}_5 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{pmatrix},$$

$$\tilde{\mathbf{D}} = \begin{pmatrix} \exp(-(\tilde{\beta}_1 + \tilde{\alpha}_{12})t) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \exp(-(\tilde{\beta}_2 + \tilde{\alpha}_{23})t) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \exp(-(\tilde{\beta}_3 + \tilde{\alpha}_{34})t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \exp(-(\tilde{\beta}_4 + \tilde{\alpha}_{42} + \tilde{\alpha}_{45})t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \exp(-(\tilde{\beta}_5 + \tilde{\alpha}_{51} + \tilde{\alpha}_{52})t) \end{pmatrix}.$$

Из производящей функции $\tilde{F}(t, x_1, x_2, \dots, x_5)$ получаем характеристики стохастического ветвящегося процесса.

Математическое ожидание количества сборочных единиц вентиляционной системы, находящихся в различных группах деградации,

$$\tilde{M}_k(t) = \prod_{i=1}^5 \left(\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^5 \tilde{M}_{ij} \right)^{m_i^0} \sum_{i=1}^5 m_i^0 \frac{\tilde{M}_{ik}}{\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^3 \tilde{M}_{ij}}, \quad k = 1, 2, \dots, 5. \quad (6)$$

Дисперсия количества сборочных единиц вентиляционной системы, находящихся в различных группах деградации,

$$\tilde{D}_k(t) = \prod_{i=1}^5 \left(\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^5 \tilde{M}_{ij} \right)^{m_i^0} \left(\left(\sum_{i=1}^5 m_i^0 \frac{\tilde{M}_{ik}}{\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^3 \tilde{M}_{ij}} \right)^2 - \sum_{i=1}^5 m_i^0 \frac{\tilde{M}_{ik}^2}{\left(\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^3 \tilde{M}_{ij} \right)^2} \right) + \quad (7)$$

$$+ \prod_{i=1}^5 \left(\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^5 \tilde{M}_{ij} \right)^{m_i^0} \sum_{i=1}^5 m_i^0 \frac{\tilde{M}_{ik}}{\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^5 \tilde{M}_{ij}} - \left(\prod_{i=1}^5 \left(\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^5 \tilde{M}_{ij} \right)^{m_i^0} \sum_{i=1}^5 m_i^0 \frac{\tilde{M}_{ik}}{\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^5 \tilde{M}_{ij}} \right)^2, \\ k = 1, 2, \dots, 5.$$

Вероятность $\tilde{P}_{m_1, m_2, \dots, m_5}(t)$ распределения сборочных единиц вентиляционной системы по группам деградации ($m_0^1 \neq 0, m_0^2 = 0, \dots, m_0^5 = 0$):

$$\tilde{P}_{m_1, m_2, \dots, m_5}(t) = \frac{m_1^0!}{m_1! m_2! \dots m_5! (m_1^0 - m_1 - m_2 - \dots - m_5)} \tilde{N}_1^{m_1^0 - m_1 - m_2 - \dots - m_5} \tilde{M}_{11}^{m_1} \tilde{M}_{12}^{m_2} \dots \tilde{M}_{15}^{m_5}. \quad (8)$$

Стохастическая ветвящаяся модель прогнозирования отказов (8) позволяет учитывать замену и ремонт сборочных единиц в режиме непрерывного функционирования вентиляционной системы. В реальных условиях замена и ремонт сборочных единиц происходит скачкообразно в момент времени технического обслуживания (временем технического обслуживания пренебрегаем). Основой построения существующих в настоящее время методик прогнозирования дополнительного ресурса систем после технического обслуживания являются марковские процессы (неветвящиеся). Ограниченность их использования заключается в том, что они не учитывают предысторию состояния параметров сборочных единиц до технического обслуживания (процесс без «памяти»). Многомерные стохастические ветвящиеся процессы позволяют успешно решать эту задачу за счет распределения во времени технических параметров сборочных единиц по группам деградации. Группы деградации являются «памятью» процесса как до технического обслуживания, так и после него.

Неизвестными в стохастическом ветвящемся процессе являются интенсивности переходов $\tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}$ (постепенный отказ); $\tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5$ (внезапный отказ); $\tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{52}, \tilde{\alpha}_{51}$ (замена или ремонт сборочных единиц). Они определяются из решения системы уравнений, полученных на основе математических ожиданий (6):

$$\begin{cases} \tilde{f}_1(\tau_{то}, \tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5, \tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{51}, \tilde{\alpha}_{52}) = q_1, \\ \tilde{f}_2(\tau_{то}, \tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5, \tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{51}, \tilde{\alpha}_{52}) = q_2, \\ \tilde{f}_3(\tau_{то}, \tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5, \tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{51}, \tilde{\alpha}_{52}) = q_3, \\ \tilde{f}_4(\tau_{то}, \tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5, \tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{51}, \tilde{\alpha}_{52}) = q_4, \\ \tilde{f}_5(\tau_{то}, \tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5, \tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{51}, \tilde{\alpha}_{52}) = q_5, \end{cases} \quad (9)$$

где $\tau_{то}$ – время технического обслуживания вентиляционной системы; q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 – количество сборочных единиц в группах деградации после проведения технического обслуживания;

$$\tilde{f}_k(\tau_{то}) = \tilde{M}_k(\tau_{то}) = \prod_{i=1}^5 \left(\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^5 \tilde{M}_{ij} \right)^{m_i^0} \sum_{i=1}^5 m_i^0 \frac{\tilde{M}_{ik}}{\tilde{N}_i + \sum_{j=1}^5 \tilde{M}_{ij}}, \quad k = 1, 2, \dots, 5.$$

Решение системы уравнений (9) сводим к задаче определения минимума функции методом наискорейшего спуска:

$$U(\tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5, \tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{51}, \tilde{\alpha}_{52}) = \\ = \sum_{k=1}^5 \tilde{f}_k(\tau_{то}, \tilde{\alpha}_{12}, \tilde{\alpha}_{23}, \tilde{\alpha}_{34}, \tilde{\alpha}_{45}, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3, \tilde{\beta}_4, \tilde{\beta}_5, \tilde{\alpha}_{42}, \tilde{\alpha}_{51}, \tilde{\alpha}_{52})^2. \quad (10)$$

Начальные приближения для итерационного процесса выбираем следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha}_{12}^{[0]} &= \alpha_{12}, \quad \tilde{\alpha}_{23}^{[0]} = \alpha_{23}, \quad \tilde{\alpha}_{34}^{[0]} = \alpha_{34}, \quad \tilde{\alpha}_{45}^{[0]} = \alpha_{45}, \\ \beta_1^{[0]} &= \beta_1, \quad \beta_1^{[0]} = \beta_2, \quad \beta_3^{[0]} = \beta_3, \quad \beta_4^{[0]} = \beta_4, \quad \beta_5^{[0]} = \beta_5, \quad \tilde{\alpha}_{42}^{[0]} = 0, \end{aligned}$$

где $\alpha_{12}, \alpha_{23}, \alpha_{34}, \alpha_{45}, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – интенсивности переходов, полученные при расчете основных параметров безотказности вентиляционных систем до технического обслуживания.

Вероятность безотказной работы вентиляционной системы при замене или ремонте сборочных единиц определяется по формуле

$$\tilde{P}(t) = \sum_{m_1=0}^{m_1^0} \sum_{m_2=0}^{m_1^0} \dots \sum_{m_5}^{m_1^0} \tilde{P}_{m_1, m_2, \dots, m_5}(t) = \sum_{m_1=0}^{m_1^0} \sum_{m_2=0}^{m_1^0} \dots \sum_{m_5}^{m_1^0} \frac{m_1^0! \tilde{N}_1^{m_1^0 - m_1 - m_2 - \dots - m_5} \tilde{M}_{11}^{m_1} \tilde{M}_{12}^{m_2} \dots \tilde{M}_{15}^{m_5}}{m_1! m_2! \dots m_5! (m_1^0 - m_1 - m_2 - \dots - m_5)}, \quad (11)$$

где $m_1 + m_2 + \dots + m_5 = m_1^0$.

Дополнительный ресурс вентиляционной системы после технического обслуживания или скачок вероятностей безотказной работы находится из выражения

$$\Delta = \tilde{P}(\tau_{\text{то}}) - P(\tau_{\text{то}}), \quad (12)$$

где $P(\tau_{\text{то}})$ – вероятность безотказной работы вентиляционной системы до замены или ремонта сборочных единиц; $\tilde{P}(\tau_{\text{то}})$ – вероятность безотказной работы вентиляционной системы после замены или ремонта сборочных единиц.

ВЫВОДЫ

1. Предложена стохастическая ветвящаяся модель прогнозирования отказов вентиляционных систем, которая позволяет учитывать замену и ремонт сборочных единиц в режиме непрерывного функционирования вентиляционной системы.

2. Представлена методика для определения скачка вероятностей безотказной работы вентиляционной системы до и после замены сборочных единиц при техническом обслуживании и ремонте.

Список литературы

1. Половко, А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

References

1. Polovko, A.M. Fundamentals of the reliability theory / A.M. Polovko, S.V. Gurov. – SPb.: BHV – Petersburg, 2006. – 704 p.

УДК 519.7

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Исходя из современной парадигмы методологии науки, ориентированной на использование системного подхода, математического и компьютерного моделирования, формулируются основные методологические принципы построения моделей сложных систем. Приводятся примеры их использования при моделировании сложных систем различной природы.

Ключевые слова: сложные системы, моделирование, методологические принципы, парадигма, примеры

METHODOLOGICAL PARADIGM OF NATURAL SCIENCES: SYSTEMS APPROACH

A.M. Danilov, I.A. Garkina

On the basis of the modern paradigm of the methodology of science, based on the use of the system approach, mathematical and computer modeling, the main methodological principles of the construction of models of complex systems are given. The examples of their use in modeling complex systems of different kinds are presented.

Keywords: complex systems modeling, methodological principles, paradigm examples

Ниже рассматриваются методологические вопросы проектирования систем с точки зрения современной *парадигмы в методологии науки* как совокупности ценностей, методов, подходов, технических навыков и средств, *принятых* в научном сообществе в рамках *устоявшейся* научной традиции в *рассматриваемый период* времени.

Считается, что система *в определенной степени* может быть разделена на *неделимые* части (*элементы*) последовательным расчленением на *подсистемы* (более крупные, чем элементы, но более мелкие, чем система в целом). Возможность такого деления требует указания элементов, способных выполнять относительно независимые функции, направленные на достижение общей *цели системы*. Для подсистемы, в свою очередь, должна быть сформулирована *подцель*, являющаяся ее *системообразующим фактором* (организмический принцип; цели подсистем не должны противо-

речь общей цели системы). Развернутая во времени последовательность реакций системы на внешнее воздействие (*поведение системы*) всегда определяется внутренним строением: элементами, связями и их атрибутами (*структурой системы*). Фундаментальными свойствами сложных систем являются *свойства существования, развития, познаваемости, предсказуемости* поведения системы.

Изучение систем в естественных условиях ограничивается их сложностью (бывает и невозможным ввиду того, что нельзя провести натурный или иной эксперимент). В этих условиях порой единственно возможным методом исследования является моделирование (физическое, логическое, математическое). Без модели нет познания. Любая гипотеза – это модель. Правильность гипотезы о будущем состоянии объекта зависит от того, насколько правильно определили параметры исследуемого объекта, взаимосвязи между ним и внешней средой. Научное описание никогда не охватывает всех деталей, оно всегда выделяет существенные элементы структур и связей. «Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых фактов» (К. Гельвеций). Так что описание системы всегда должно содержать обобщенную модель явлений. Предполагается, что модель позволяет воспроизводить интересующие свойства и характеристики объекта-оригинала, обладая существенными преимуществами и удобствами по сравнению с последними. Сформулируем *основные концептуальные исходные принципы* при построении модели.

Принцип многомодельности. Описание с достаточной степенью адекватности различных аспектов сложной системы невозможно на основе единственной модели; возможны различные взаимосвязанные представления, отображающие отдельные аспекты поведения или структуры системы. Так как *система – не множество подсистем, а целостный объект*, допускающий различные членения на подсистемы (быть может, даже бесконечное число членений), она *не тождественна никаким ее членениям; не существует оптимального способа описания и измерения сложных систем.*

Принцип декомпозиции. Предполагается определенная возможность сведения одной задачи большой размерности (по числу уравнений в системе, по числу переменных и т.д.) к нескольким задачам меньшей размерности. Так *декомпозиция проектируемого объекта приводит к иерархическому принципу проектирования по этапам.*

Принцип иерархического строения модели сложных систем. Построение модели осуществляется на разных уровнях абстрагирования или детализации в рамках фиксированных представлений. В основе лежит иерархическая структура критериев качества и разработанная в соответствии с ней иерархическая структура собственно системы. *Исходная модель* сложной системы дает лишь наиболее общее представление (метод представления) и строится на начальном этапе проектирования; не содержит детали и аспекты моделируемой системы. Далее проводится *когнитивное моделирование* с построением орграфа [1...4]. Осуществляется *поуровневый спуск* от общих моделей концептуального уровня *к частным представлениям системы* с последовательным дополнением все большим количеством деталей для более адекватного отражения различных аспектов при конкретной реализации сложной системы. *Чем сложнее проектируемый объект, тем больше уровней иерархии.*

Принцип минимизации размерности критериального пространства. Управление качеством системы в конечном итоге производится на основе совокупности экспериментально определенных основных характеристик. *Требуемое число элементов этой совокупности должно устанавливаться исходя из дифференциального порога при выделении классов качества (с обеспечением необходимого уровня соотношения «сигнал/шум»).* Естественно, лучше всего использовать независимые частные критерии качества. Однако, как правило, частные критерии являются противоречивыми. Оценка полноты множества критериев носит субъективный характер. Размерность задачи по оценке качества системы определяется числом частных критериев; чем оно меньше, тем лучше (при числе критериев меньше трех возможна удовлетворительная оценка качества даже с использованием графических методов (визуализации) [5]). Пока поиск

методов снижения размерности задач по оценке качества системы с одновременным определением совокупности независимых частных критериев не потерял свою актуальность.

Итерационный принцип проектирования. Выполнение заданных требований осуществляется на основе последовательного приближения по результатам моделирования и оптимизации на каждом этапе проектирования.

Принцип унификации. Для упрощения процесса проектирования используется компактное представление (минимально возможная номенклатура) элементов каждого уровня иерархии. Основная цель унификации – минимизация числа вновь разрабатываемых моделей.

Принцип контролируемости каждого этапа предполагает контроль правильности (верификация; подтверждение соответствия конечного продукта predetermined эталонным требованиям) выполнения работ на различных этапах проектирования.

Исходя из приведенных принципов в общую схему проектирования системы следует включить:

- структурный синтез на каждом этапе (уже начальный вариант структуры объекта проектирования оценивается с точки зрения удовлетворения требованиям технического задания);
- составление математической модели;
- анализ математической модели;
- оптимизацию параметров математической модели;
- статистический анализ.

На каждом этапе исходными данными являются требуемые параметры объекта проектирования. Если значения выходных параметров не удовлетворяют требованиям технического задания, то осуществляется параметрическая оптимизация, изменение структуры объекта проектирования или корректировка ТЗ (требуется согласие заказчика). Указанный подход нами использовался при проектировании (как сложных систем) композиционных материалов, тренажных и обучающих комплексов, различных организационных систем, в том числе образовательной системы [6, 7].

Так, при синтезе материалов специального назначения, связанном с выбором рецептуры, технологии и способов управления качеством [8, 9], использовались различные способы оптимизации параметров системы, в том числе векторной. Неопределенность целей преодолевалась использованием линейной свертки, введением некоторых контрольных показателей, построением множеств Парето и т.д.

Моделирование эргатических систем осложняется значительными трудностями формализации деятельности оператора по управлению объектом, оценки переноса навыков управления с тренажера на реальный объект и т.д. Поэтому здесь синтез осуществляется из условий адекватности управляющих воздействий оператора для управления объектом (сравниваются управляющие воздействия при управлении реальным объектом и динамической моделью [10]).

Предложенные принципы были успешно реализованы для обеспечения безопасности функционирования объектов повышенного риска, хранения и транспортировки особо опасных грузов [11, 12].

Полученные результаты прошли независимую экспертизу с указанием эффективности использования предложенных принципов проектирования.

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование сложных слабоструктурированных систем: пример реализации / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2008. – № 2. – С. 16–21.
2. Гарькина, И.А. Опыт разработки композиционных материалов: некоторые аспекты математического моделирования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 8 (656). – С. 28–33.
3. Данилов, А.М. Системный анализ, теории идентификации и управления в задачах синтеза композиционных материалов специального назначения / А.М., Данилов

И.А. Гарькина // Вестник Хмельницкого национального университета. – 2007. – №3. – С.196–201.

4. Данилов, А.М. Методология проектирования сложных систем при разработке материалов специального назначения / А.М., Данилов И.А. Гарькина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 1. – С. 80–85.

5. Гарькина, И.А. Метод главных компонент в управлении качеством материалов для защиты от ионизирующего излучения / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 306–307.

6. Данилов, А.М. Образовательная система с позиций идентификации и управления / А.М., Данилов И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 143–146.

7. Данилов, А.М. Методологические принципы оценки качества образовательной системы / А.М., Данилов И.А. Гарькина, И.В. Маркелова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 161.

8. Преодоление неопределенности целей в задачах многокритериальной оптимизации на примере разработки сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев, В.А. Смирнов // Строительные материалы. – 2006. – № 9. – С. 104–105.

9. Будылина, Е.А. Фундаментальные основы оценки качества сложных систем / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 4 (14). – С. 6–9.

10. Данилов, А.М. Аппроксимационные задачи при разработке имитаторов транспортных систем: распараллеливание вычислительных процессов / А.М., Данилов И.А. Гарькина // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – № 4 (24). – С.75–80.

11. Обобщенная математическая модель управления безопасностью арсеналов и баз хранения боеприпасов / А.М. Данилов, О.А. Голованов, И.А. Гарькина, А.А. Плющ // Вестник Хмельницкого национального университета. – 2007. – №1. – С.241–246.

12. Математическое моделирование процесса развития и исхода противотеррористической операции на базах хранения боеприпасов и средств поражения / О.А. Голованов, Ю.Г. Яшин, А.М. Данилов, С.М. Курков // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2006. – № 2. – С. 37.

References

1. Garkina, I.A. Cognitive modeling of semistructured systems: example of implementation / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Regional architecture and engineering. – 2008. – № 2. – P. 16–21.

2. Garkina, I.A. Experience in the development of composite materials: some aspects of mathematical modeling / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Proceedings of the higher educational institutions. Building. – 2013. – № 8 (656). – P. 28–33.

3. Danilov, A.M. System analysis, identification and control theory in problems of the synthesis of composite materials, special purpose / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Herald of Khmelnytsky National University. – 2007. – №3. – P.196–201.

4. Danilov, A.M. Methodology for the design of complex systems in the development of special-purpose materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Proceedings of the higher educational institutions. Building. – 2011. – № 1. – P. 80–85.

5. Garkina, I.A. The method of the principal components in the management of quality materials for the protection against ionizing radiation / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Review of Applied and Industrial Mathematics. – 2009. – V. 16. – № 2. – P. 306–307.

6. Garkina, I.A. The educational system from point of view of identification and control / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 2. – P. 143–146.

7. Danilov, A.M. Methodological principles of assessing the quality of the educational system / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.V. Markelov // *Modern problems of science and education*. – 2014. – № 2. – P. 161.
8. Overcoming the purposes of uncertainty in multi-criteria optimization problems on the example of the development of super heavy concrete for protection against radiation / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev, V.A. Smirnov // *Construction materials*. – 2006. – № 9. – P. 104–105.
9. Budylnina, E.A. Fundamentalnye bases of the estimation of quality of complex systems / E.A. Budylnina, I.A. Garkina, A.M. Danilov // *New University. Series: Engineering*. – 2013. – № 4 (14). – P. 6–9.
10. Danilov, A.M. The approximation problems in the development of simulators of transport systems: parallelization of computational processes / A.M. Danilov, I.A. Garkina // *Vestnik of Tajik Technical University*. – 2013. – № 4 (24). – P.75–80.
11. Generalized mathematical model of security management of arsenals and ammunition storage base / A.M. Danilov, O.A. Golovanov, I.A. Garkina, A.A. Plyushch // *Vestnik of Khmelnytsky National University*. – 2007. – №1.– P.241–246.
12. Mathematical modeling of the development process and the outcome of counterterrorism operations at the bases of the storage of ammunition and weapons / O.A. Golovanov, Y.G. Yashin, A.M., Danilov S.M. Kurkov // *Proceedings of the Russian Academy of Missile and Artillery Sciences*. – 2006. – № 2. – P. 37.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 331.104

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

Резник Семён Давыдович,
доктор экономических наук, профессор,
зав.кафедрой «Менеджмент»
E-mail: disser@bk.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Reznik Semyon Davidovich,
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Head of the department «Management»
E-mail: disser@bk.ru

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕНЕДЖЕРА С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ НАЧАЛЬНИКОМ: ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ СОБСТВЕННЫХ ИДЕЙ И ПРОЕКТОВ

С.Д. Резник

Рассматриваются подтверждённые практикой способы и приёмы убедительного воздействия менеджеров на своих руководителей.

Ключевые слова: менеджер, убедительность, методы убеждения, взаимоотношения с начальником

RELATIONSHIP OF A MANAGER WITH THE EXECUTIVE: TECHNOLOGIES OF SUPPORT FOR MANAGER'S IDEAS AND PROJECTS

S. D. Reznik

The confirmed with practice methods of convincing impact of managers on their heads are considered.

Keywords: manager, persuasion, methods of persuasion, relationship with an executive

«Лидеры могут вызывать невероятное доверие к себе на основе предшествующих достижений, личных талантов и способности к убеждению¹»
Джей Конгер (американский исследователь и преподаватель в области управления и организационного поведения)

В строительной сфере занято большое количество управленцев. Любому менеджеру вряд ли придется рассчитывать на успех, если его не будет поддерживать непосредственный руководитель. В этой связи огромное значение имеет способность менеджера быть убедительным для своего начальника.

В повседневной практике общения руководителей различного ранга довольно часто имеют место примеры, когда идеи, доклады и проекты менеджеров не поддерживаются их непосредственными руководителями.

Казалось бы, в предлагаемом проекте все глубоко и всесторонне письменно было обосновано. И если при этом предложения подчиненного менеджера отвергаются, то единственную причину он зачастую видит в том, что начальство консервативно, имеет устаревшие взгляды, отстало от жизни, не хочет заниматься завтрашним днем и т.д. Так думают многие, особенно молодые, руководители. Действуя формально в соответствии с принципами принятия управленческих решений, они нередко упускают из виду специфику человеческого восприятия, то есть психологический фактор. Слабое звено такого подхода – акцентирование внимания лишь на одной проблеме – существовании предложения. На самом деле есть и вторая проблема – каким образом убедить начальника поддержать позицию подчиненного.

Методы, овладение которыми способно помочь менеджеру стать более убедительным по отношению к своему начальнику, конечно же, есть. Практика менеджмента это подтверждает.

Как понимать убедительность. Психология убеждения человека основана на том, что, убеждая, говорящий воздействует на сознание личности убеждаемого. Смысл психологии убеждения заключается в том, чтобы разъяснить свою позицию, выделить социальную и личную значимость решения того или иного вопроса.

Такое убеждение можно будет считать успешным, если убеждаемый человек становится в состоянии лично обосновать принимаемое им решение, оценить его положительные и отрицательные стороны.

Убеждение апеллирует к аналитическому мышлению, при котором преобладают сила логики, доказательность и достигается убедительность приводимых доводов. Убеждение как психологическое воздействие должно создавать у человека убежденность в правоте подчиненного и собственную уверенность в правильности принимаемого решения [8, с.54].

Восприятие информации, убеждающей человека, зависит от того, кто ее сообщает, насколько этот человек доверяет источнику информации. Создать впечатление своей компетентности можно тремя способами [8, с.57]: начать высказывать суждения, с которыми слушатель согласен, быть представленным в качестве специалиста в данной области, говорить уверенно, без тени сомнения.

Люди больше доверяют, когда уверены, что у подчиненного нет намерения убедить их в чем-либо. Правдивыми кажутся и те люди, которые защищают то, что идет вразрез с их собственными интересами.

Способность убеждать является важным моментом коммуникаций с руководителем. Успех воздействия зависит от двух составляющих: достоверности информации, которая будет служить в качестве доводов правоты, и способности логично и убедительно излагать свои мысли.

¹ Conger J.A. and Kanungo R.N. "Behavioral Dimensions of Charismatic Leadership", in Charismatic Leadership (San Francisco: Jossey-Bass, 1988)

Актуальность этой проблемы состоит и в том, что далеко не все компании заботятся о создании питательной атмосферы для выращивания инновационных идей, особенно в сфере управления человеческими ресурсами. В этом вопросе собственники бизнеса зачастую придерживаются одной из двух позиций: «дела и так неплохи, зачем что-то выдумывать» или «зачем волновать людей, пусть работают спокойно». Большинство уникальных кадровых проектов «кладутся в стол» не только потому, что требуют денежных и временных затрат в обмен на потенциальную прибыль, но и потому, что их «инициаторы» изначально не продумали, как отстоять свои идеи и убедить руководство в их целесообразности.

Джон Дж. Габарро и Джон П. Коттер приводят аргументы, которые могут решить эти проблемы [5]:

а) хорошо понимать другого человека и себя, особенно в отношении сильных и слабых сторон, стилей работы и потребностей;

б) использовать эту информацию для налаживания и поддержания здоровых рабочих отношений, которые согласовываются со стилем работы и активами обоих, характеризуются взаимными ожиданиями и удовлетворяют наиболее насущные потребности другого человека.

Джон Дж. Габарро и Джон П. Коттер выделяют несколько этапов, которые, по их мнению, приведут менеджера к успеху в убеждении своего руководителя:

Во-первых, понять начальника.

Во-вторых, понять себя.

В-третьих, наладить и развивать взаимоотношения с руководителем.

На третьем этапе исследователи предлагают воспользоваться таблицей, которая, по их мнению, может помочь менеджерам быть более продуктивными и успешными (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Инструменты убеждения непосредственного начальника [5]

Контрольная таблица по убеждению начальника
Убедитесь, что Вы понимаете его мотивы, в том числе:
Цели и намерения
Затруднения
Сильные и слабые стороны, «мертвые зоны»
Предпочтительный стиль работы
Оцените себя и свои потребности, в том числе:
Сильные и слабые стороны
Личный стиль деятельности
Предрасположенность к зависимости от авторитетных фигур
Выработайте и поддерживайте отношения, которые
Соответствуют потребностям и стилям работы вашей и руководителя
Характеризуются обоюдными ожиданиями
Позволяют держать Вашего руководителя в курсе событий
Основаны на надежности и честности
Позволяют выборочно использовать личное рабочее время и ресурсы Вашего шефа

Дюфор Г. считает, что успеху в управлении своим начальником способствует анализ типа начальника, что можно отнести к первому этапу в постановке отношений с руководителем по Джону Дж. Габарро и Джону П. Коттеру [6]. Например, начальник-хорошист обычно действует слишком медленно, поскольку старается распределить ответственность по справедливости. Подтолкните его, начав активно действовать. Начальник-деспот лучше подготовлен к кризисным ситуациям, поскольку не испытывает перед ними страха. Поддержите такого начальника, продемонстрировав свое умение работать в команде. В критический момент начальнику-хамелеону ничего не стоит пожертвовать кем-то из подчиненных, поэтому заранее продумайте, куда перейти после увольнения. Всегда держите такого начальника в

курсе событий, и если ему удастся сохранить власть, вы тоже останетесь на своем месте. Начальник-артист в условиях кризиса чувствует себя как рыба в воде, поскольку ему нравится быть в центре внимания. Четко следуйте его инструкциям и внимательно слушайте, что он говорит. Когда в кризисную ситуацию попадает начальник-интеллектуал, воспользуйтесь его готовностью считаться с мнением подчиненных, чтобы направить его действия в нужную сторону. Поскольку начальник-эгоцентрист прежде всего озабочен собственной персоной, в критический момент первым делом подумайте о том, как себя обезопасить. Запаситесь доказательствами своей невиновности в чем-то.

- В своей работе «Как управлять шефом?» И.Миллер предлагает ряд приемов, которые могут помочь подчинённому более эффективно взаимодействовать с начальством [10]. Он утверждает, что самое главное для подчинённого – научиться правильно себя позиционировать, тогда всё остальное будет делом техники.

Быть компетентным, квалифицированным, умным, а иногда и хитрым сотрудником – значит быть в цене у шефа. Конечно, стоит опасаться крайностей: порой у осознавшего свою нужность подчинённого появляется искушение манипулировать, то есть убедить шефа в том, что лучшего сотрудника на это место он не найдёт. И здесь определённо стоит вспомнить ещё одну аксиому: незаменимый сотрудник не сделает карьеру!

Поволоцкая В. акцентирует внимание на поведении работника непосредственно в диалоге с начальством. Во-первых, нужно владеть информацией, во-вторых, нужно владеть ораторским мастерством (хотя бы на начальном уровне), в-третьих, владеть собой. Одним словом, чтобы убеждать, надо быть убедительным. Она предлагает ряд приёмов взаимодействия с руководителем [14]:

1. *Начните подготовку к разговору с начальником иначе, нежели обычно* – с определения сильных сторон, свойств и характеристик, которые выгодно отличают вас от коллег. Что вы сделали особенного за последнюю неделю? За какие качества ценят вас сослуживцы? Нет-нет, не стоит перебирать свои должностные обязанности. Сфокусируйтесь именно на заслугах, достижениях.

2. *Во время ответственного разговора контролируйте внешние проявления волнения, неуверенности и сильной личной заинтересованности*, поскольку отсутствие самообладания и неумение сдерживать эмоции производят неблагоприятное впечатление на собеседника. Человека выдают навязчивые движения, срывающийся голос и напряжённое положение тела.

3. *Умейте правильно подать информацию, это является важным моментом при общении с начальником*. Прежде всего, нужно тщательно выбрать место, окружение и время. Разумеется, обстановка по возможности должна способствовать благодушному настроению босса.

4. *Используйте Способ Сократа*

Древний философ создал оригинальный способ убеждения. Суть его состоит в том, чтобы с самого начала разговора не давать собеседнику повода сказать «нет». При этом вы не оказываете давление на партнера, просто задаете вопросы, которые формулируются таким образом, что на них можно ответить только «да». Фокус в том, что человек не любит менять свое мнение, и если он согласится с вами хотя бы в трех случаях, то, скорее всего, признает правильными ваши слова и дальше.

5. *«Для привлечения внимания босса к общим интересам и целям используйте так называемый «Мы-подход»*. Местоимение «мы» интуитивно приводит к взаимному согласию и сотрудничеству. Руководитель легче примет вашу позицию, если вы скажете: «Согласитесь, мы с вами приложили немало усилий, чтобы выйти из кризисной ситуации», нежели: «Я приложил немало усилий, чтобы выйти из кризисной ситуации».

6. А вот для продолжения разговора в будущем можно рекомендовать технику «Я-высказываний», состоящую из следующих шагов:

- Объясните, по каким причинам есть смысл рассмотреть ваше предложение.

– Сформулируйте конечный результат, который вы предполагаете получить, и предложите потенциальные варианты разрешения ситуации: «Мне бы хотелось, чтобы...». В отдельных случаях бывает полезным обоснование того, почему вы желали бы что-то сделать.

– Выразите признательность руководителю за то, что он вас выслушал.

Итак, психологи определяют убедительность как умение добиваться желаемых изменений во взглядах и убеждениях других лиц. Ряд специальных экспериментов позволил ученым выделить те основные факторы, которые оказывают решающее влияние на выбор руководителем своей позиции [15, 17].

Один из важнейших факторов – личность автора предложения. В одном эксперименте двум группам студентов была прочитана статья о перспективах использования атомных двигателей в судостроении. В первом случае студентам сказали, что ее автор – широко известный физик, крупнейший отечественный специалист в области ядерной энергетики; а во втором – малоизвестный специалист. Когда затем экспериментаторы попросили студентов обеих групп письменно изложить свое мнение о возможностях применения атомных двигателей в судостроении в ближайшем будущем, то оказалось, что более оптимистичные взгляды характерны для студентов из первой группы, где автором статьи был назван крупный ученый.

Однако дальнейшие исследования показали, что «эффект авторитета» носит временный характер. Когда студентов этих же двух групп попросили вновь ответить на те же самые вопросы спустя две недели после лекции, то оказалось, что благоприятное впечатление, произведенное статьей «авторитетного ученого», несколько ослабло. В то же время, студенты второй группы стали оценивать перспективы использования атомных двигателей в морском флоте куда более оптимистично, чем в первый раз. Психологи пришли к выводу, что объективный фактор – содержание статьи – со временем неизбежно начинает превалировать над фактором субъективным – авторитетом ее автора.

Поэтому руководителям, стремящимся сделать свои предложения более убедительными для начальства, следует обязательно подкреплять свои предложения ссылками на авторитетный источник. Но, поступая так, нельзя забывать о необходимости обеспечить достаточную обоснованность своих предложений. Иными словами, ссылки на авторитеты – хороший вяжущий материал, но без кирпича здание все же не построить [15].

Сначала поговорите с начальником. Степень убедительности информации в немалой мере зависит от способа ее передачи. Чем больше органов чувств принимает участие в процессе получения информации, тем эффективнее этот процесс. Именно поэтому письменный доклад, который воспринимается только зрительно, менее эффективен, чем личное сообщение, когда работают и зрение, и слух.

Конечно, у письменного доклада есть достоинства, которые невозможно отрицать. Такой доклад позволяет начальнику изучить представленный проект в деталях, лучше запомнить ключевые моменты, служит более удобной основой для выработки окончательного решения.

Поэтому главный вопрос здесь стоит не в том, какую форму передачи информации – письменную или устную – использовать, а в том, какую из них

использовать первой. Кроме того, решение этого вопроса зависит и от вашего умения излагать свои мысли устно и письменно.

Например, письменные доклады – спасение для тех, кто недостаточно уверен в своих способностях хорошо объяснить суть проблемы. Изложить свои мысли на бумаге в этом случае – самый надежный способ хорошо сформулировать и обосновать свою позицию. Унизительное косноязычие при попытке лично доказать шефу свою правоту может привести к противоположному результату – появлению у шефа сомнений в вашей компетентности. Естественно, руководители такого типа все свои усилия направят на тщательную «отделку» письменного доклада.

Идеальный подход – это устный разговор с руководителем, а затем уже – представление ему письменного обоснования Ваших предложений.

Изложение своих предложений в личной беседе с начальником можно считать использованием принципов первичности и новизны. Принцип первичности отражает то обстоятельство, что на формирование нашего мнения по тому или иному вопросу в значительно большей степени влияет информация, которая была получена нами первой. Принцип же новизны состоит в том, что лучше мы запоминаем, наоборот, ту информацию, которую получили последней. Поэтому-то целесообразным является использование на первом этапе именно личного общения как наиболее эффективного метода передачи информации.

Если же начать с представления письменного доклада, то возражения, которые могут возникнуть при его чтении у начальника, в результате эффекта первичности опровергнуть потом будет куда труднее, чем если бы они возникли в ходе устного сообщения. В последнем случае хватило бы одного вопроса и ответа на него, чтобы не дать сомнениям укорениться.

Очень редко удается отразить в письменном докладе все те моменты, которые могут заинтересовать нашего начальника. А устный разговор позволяет немедленно наладить «обратную» связь, точнее, определить, под каким углом надо вести дальнейшее изложение своих предложений. Такая «обратная связь» дает возможность понять не только оценку шефом логичности наших доводов, но и его эмоциональную реакцию на подготовленные нами предложения. В ходе личного доклада можно уловить, какие именно моменты проекта вызывают у начальника отрицательную реакцию, а значит, получить возможность при подготовке письменного доклада определить, где необходимо дополнительно усилить аргументацию, прикрыв ею, как броней, слабые точки, обнаруженные в первом «бою». В итоге мы получаем возможность понять реальные причины возражений шефа против нашего проекта, а не просто констатировать, что все наши аргументы пропали впустую.

Сделайте своего начальника участником проекта. Чтобы наши предложения были более убедительными и для начальника и для его ближайшего окружения, нужно вовлечь руководителя в подготовку своих предложений. Чем большее участие начальник принимал в подготовке нашего проекта, тем более он склонен будет затем принять его. Не надо, конечно, ежедневно бегать к нему со своими сомнениями, но все ключевые моменты проекта необходимо обсудить с ним еще на подготовительной стадии.

Даже если вы предпочтете разрабатывать проект в гордом одиночестве, все равно нужно постоянно помнить о том, что абсолютно объективная оценка шефом нашего доклада просто невозможна. Он обязательно будет рассматривать наши предложения сквозь призму своего опыта, убеждений и предупреждений, симпатий и антипатий. Этот эмоциональный фактор способен оказать огромное влияние на восприятие информации. Например, если новая идея хотя бы косвенно свидетельствует в пользу тех взглядов, которыми мы руководствуемся в своей деятельности, то мы склонны считать ее куда более близкой к нашей собственной позиции, чем есть на самом деле. Этот эффект психологии называют «уподоблением», а обратное ему явление – «контрастированием».

Свой проект всегда кажется разумным, а указывать на возможные отрицательные последствия его реализаций представляется излишним. Но на самом деле это не так. Нельзя ограничиться рассказом лишь о сильных сторонах предложения, обязательно нужно показать начальнику и недостатки ваших предложений. Если наш начальник вполне компетентен в той области, к которой относится проект, то указать некоторые отрицательные последствия воплощения в жизнь этих предложений (пусть даже эти последствия крайне маловероятны) – неплохая идея. Пусть шеф сразу же задумается над негативными моментами и как более опытный человек взвесит их последствия.

Заручитесь поддержкой окружения шефа. Заручиться устойчивой поддержкой начальника особенно необходимо потому, что, как правило, судьба проекта решается начальником не в одиночку, а совместно с группой других руководителей высокого ранга, например с его заместителями.

Многочисленные исследования показывают, что позиция «команды» руководителя оказывает огромное влияние на формирование индивидуальных мнений ее членов. Порой мы больше верим тому, что говорят другие члены нашей группы, чем собственным глазам и ушам. Поэтому, стремясь сделать свои предложения более убедительными для руководителя, необходимо нейтрализовать возможное отрицательное влияние на шефа других членов руководящей команды.

С этой целью можно заранее выяснить позиции тех лиц, которые могут участвовать в обсуждении нашего проекта и принятии окончательного решения, а затем приложить все усилия, чтобы убедить в своей правоте хотя бы одного из этих руководящих лиц, использовав его авторитет в дальнейшем для воздействия на группу в целом. Естественно, все это должно осуществляться с ведома нашего непосредственного начальника.

Резюме

Суммируя сказанное, можно сформулировать ряд приемов, использование которых поможет сделать свои идеи более убедительными для непосредственного начальника:

1. Используйте авторитеты для поддержки своих аргументов, выяснив предварительно, кто из этих авторитетов наиболее уважаем вашим начальником. Но не полагайтесь только на это. Помните, что содержание доклада должно быть достаточно аргументированным и убедительным само по себе.

2. Преодолейте собственную стеснительность против личного общения с начальником, для того чтобы вначале изложить свои предложения ему устно в личной беседе.

3. Письменный доклад представьте позднее, когда будете достаточно отчетливо представлять себе основные возражения шефа и сможете сосредоточить внимание на их преодолении.

4. Постарайтесь вовлечь начальника в обсуждение ваших предложений еще на начальной стадии их разработки. Это хороший способ обеспечить его эмоциональную поддержку проекту. Кроме того, может сразу же выясниться, что ваши идеи по каким-то причинам принципиально неприемлемы для него. В этом случае вы сумеете избежать пустой траты времени.

5. Сделайте свой доклад объективным. Лучше указать на отрицательные стороны проекта самому, чем ждать, пока это сделают другие. Это повышает убедительность и приемлемость ваших идей. Кроме того, ваш начальник будет лучше подготовлен к возможным возражениям со стороны других членов его команды.

6. Заручитесь поддержкой ближайшего окружения руководителя. Учитывайте возможное влияние на позицию вашего начальника коллективного мнения той группы лиц, вместе с которой он будет принимать решение о ценности ваших предложений. Обязательно постарайтесь привлечь в свои сторонники одного или двух из этих специалистов. Если во время обсуждения ваш начальник получит поддержку хотя бы одного из членов руководства, то он будет отстаивать ваше предложение с большим энтузиазмом, чем если бы ему пришлось биться за ваш проект в одиночку.

Следует заметить, что использование всех шести рекомендаций не является гарантией принятия предложений подчиненного. Но, по крайней мере, он полностью сможет использовать свой шанс. Если же в итоге он не убедил своего начальника, значит, проект нуждается в доработке.

Список литературы

1. Александров, В.Б. И. А. Ильин о «культуре повиновения» / В.Б. Александров // Управленческое консультирование. – 2014. – №4 (64). – С.145–152.
2. Барнс Брюс Б. Как сделать ваши предложения более убедительными // ЭКО. – 1997. – №6.
3. Безуглая, Г.В. Характеристика взаимоотношений руководителей и исполнителей / Г.В. Безуглая // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2010. – № 11. – С.93–94.

4. Джай Рос. Как управлять своим боссом: пер. с англ. / Джай Рос. – СПб.: Изд. дом «Нева», 2003. – 224 с.
5. Габарро Джон Дж. Как управлять своим шефом / Джон Дж. Габарро, Джон П. Коттер // Мысль. – 2006. – №11. – URL: http://www.idea-magazine.com.ua/archive/7885/upravlenie_comp/7896.html
6. Дюфор, Г. Как управлять своим начальником / Г. Дюфор // McGraw-Hill. – 2010. – С.222. – URL: <http://www.hr-academy.ru/hrarticle/kak-upravlyat-svoim-nachalnikom.html>
7. Зайцева, Е.В. Психологические условия и факторы снижения конфликтности личности в системе «руководитель – подчиненный»: дис. ... канд. психолог. наук / Е.В. Зайцева. – М., 1998.
8. Ильин, Е.П. Психология общения и межличностных отношений / Е.П. Ильин. – СПб.: Питер, 2009. – 576 с.
9. Маслова, С. Модели общения с руководителем / С. Маслова. – М.: Поиск, 1994.
10. Миллер, И. Как управлять шефом? / И. Миллер. – URL: <http://astro7.ru/online-journal/articles/87181/>
11. Миронова, С.Г. Взаимосвязь социально-психологических характеристик личности и эмоционального отношения руководителей школ к подчиненным / С.Г. Миронова, Е.Б. Филинкова // Вестник Брянского государственного университета. – 2012. – № 1. – С. 253–257.
12. Ньюстром, Дж. В. Организационное поведение / Дж. В. Ньюстром, К. Дэвис. – СПб.: Питер, 2000.
13. Платонов, А. Манипулирование в сфере организации в соотношениях: руководитель – подчиненный / А. Платонов // Управление персоналом. – 2008. – № 13. – С. 47–48.
14. Поволоцкая, В. Как убедить руководителя принять вашу позицию / В. Поволоцкая // HR Лига. Сообщество кадровиков и специалистов по управлению персоналом. – 2010. – URL: <http://hrliga.com/index.php?id=7091&module=news&op=view>
15. Резник, С.Д. Как строить отношения с руководителем / С.Д. Резник // Хозяйство и право. – 1993. – №3. – С. 101–110.
16. Резник, С.Д. Дороги к менеджменту / С.Д. Резник. – М.: ИНФРА-М, 2016.
17. Резник, С. Д. Организационное поведение / С.Д. Резник. – М: ИНФРА – М, 2009.
18. Резник, С.Д. Организационное поведение (практикум: деловые игры, тесты, конкретные ситуации) / С.Д. Резник, И.А. Игошина, О.И. Шестернина. – М: ИНФРА-М, 2012.
19. Руководитель и подчиненный – прежде всего люди, а значит, успех их взаимодействия кроется в личностных особенностях, в умении выстраивать коммуникации, в таких простых вещах, как «симпатия/ антипатия» // Управление персоналом. – 2011. – №12. – С.39–40.
20. Рысев, Н.Ю. 11 правил руководителя / Н.Ю. Рысев. – СПб.: Питер, 2007. – 224 с.
21. 7 нот менеджмента. Настольная книга руководителя / под ред. В.В. Кондратьева. – М.: Эксмо, 2007. – 832 с.
22. Степанов, С.В. 100 способов понравиться начальнику: как ладить с начальником, больше зарабатывать и ускорить карьерный рост / С.В. Степанов. – Ростов н/Д: Феникс, 2012.
23. Цвык, В.А. Этика деловых отношений и служебная этика Как управлять своим шефом / В.А. Цвык // Личность. Культура. Общество. – 2012. – Т. 14. – № 1. – С. 247–252.

References

1. Aleksandrov, V.B. I.A. Ilyin about the «culture of obedience» / V.B. Aleksandrov // Management consulting. – 2014. – №4 (64). – P. 145–152.
2. Barnes, Bruce B. How to make your proposals more persuasive / Bruce B. Barnes. // EKO. – 1997. – No. 6.
3. Bezugly, G.V. Characterization of the relationship of managers and executives / G.V. Bezugly // Vestnik of Kamchatka State technical University. – 2010. – № 11. – P. 93–94.
4. Jai Grew. How to manage your boss/ lane. from English / Jai Grew.. – SPb.: Ed. house «Neva», 2003. – 224 p.
5. Gabarro, John J. How to manage your boss / John J. Gabarro, John P. // Idea. – 2006. – №11. – URL: http://www.idea-magazine.com.ua/archive/7885/upravlenie_comp/7896.html
6. Dufort, G. How to manage your boss / G. Dufort // McGraw-Hill – 2010. – С. 222 – URL: <http://www.hr-academy.ru/hrarticle/kak-upravlyat-svoim-nachalnikom.html>
7. Zaytseva, E.V. Psychological conditions and factors reducing the conflict of personality in the system «Manager – subordinate»: dis. ... of cand. of psycholog. Sciences / E.V. Zaytseva. – M., 1998.
8. Ilyin, E.P. Psychology of communication and interpersonal relations / E.P. Ilyin. – SPb.: Piter, 2009. – 576 p.
9. Maslova, S. Model of communication with the head / S. Maslova. – M.: Research, 1994.
10. Miller, I. How to manage the boss? / I. Miller. – URL: <http://astro7.ru/online-journal/articles/87181/>
11. Mironov, S.G. Relationship of socio-psychological characteristics of personality and emotional attitude of heads of schools to subordinates / S.G. Mironov, E.B. Filinkova // the Vestnik of Bryansk state University. – 2012. – № 1. – P. 253–257.
12. Newstrom, George V. Organizational behavior / George. V. Newstrom, K. Davis. – SPb.: Peter, 2000.
13. Platonov, A. Manipulation in the field of organization relationships: supervisor – subordinate» / A. Platonov // Personnel Management. – 2008. – № 13. – P.47–48.
14. Povolotskii, V. How to persuade the Manager to accept your position / V. Povolotskii //HR League. Community of HR managers and specialists in personnel management. – 2010 – URL: <http://hrliga.com/index.php?id=7091&module=news&op=view>
15. Reznik, S.D. How to build relationships with the head / S.D. Reznik // Economy and law. – 1993. – № 3. – P. 101–110.
16. Reznik, S.D. Road management / S.D. Reznik. – M.: INFRA-M, 2016.
17. Reznik, S.D. Organizational behavior / S.D. Reznik. – M.: INFRA-M, 2009.
18. Reznik, S.D. Organizational behavior (workshop: business games, tests, specific situations) / S.D. Reznik, I.A. Igoshina, O.I. Shesternina. – M.: INFRA-M, 2012.
19. The Manager and staff are all humans, and therefore, the success of their interaction lies in personality, ability to build communication in such simple things as «sympathy/ antipathy» // Personnel Management. – 2011. – №12. – P.39–40.
20. Rysev, N.Yu. 11 of the rules of the head / N.Yu. Rysev. – SPb.: Peter, 2007. – 224 p.
21. 7 notes of management. Handbook of head / under the editorship of V.V. Kondratiev. – M.: Eksmo, 2007. – 832 p.
22. Stepanov, S.V. 100 ways to please the boss: How to get along with the boss, earn more and accelerate career growth / S.V. Stepanov. – Rostov n/D: Feniks, 2012.
23. Tsvyk, V.A. Ethics of business relations. How to manage your boss / V.A. Tsvyk // Personality. Culture. Society. – 2012. – T. 14. – № 1. – P. 247–252.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Резник Семён Давыдович,
доктор экономических наук, профессор,
зав.кафедрой «Менеджмент»
E-mail: disser@bk.ru

Холькина Ольга Валерьевна,
аспирант
E-mail: olga-chapurina@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

Reznik Semyon Davidovich,
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Head of the department of «Management»
E-mail: disser@bk.ru

Hol'kina Olga Valer'evna,
Postgraduate student
E-mail: olga-chapurina@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ: ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ

С.Д. Резник, О.В. Холькина

Рассмотрены бразующие факторы, возникающие в процессе управления человеческими ресурсами. Произведена эконометрическая оценка факторов, влияющих на эффективность управления человеческими ресурсами в строительных организациях. Предложены технологии риск-менеджмента для улучшения качества управления человеческими ресурсами в строительных организациях.

Ключевые слова: строительные организации, человеческие ресурсы, эффективность управления, эконометрическая оценка, риск-менеджмент

THE EFFICIENCY OF HUMAN RESOURCES MANAGEMENT IN CONSTRUCTION COMPANIES: THE ECONOMETRIC EVALUATION OF IMPACT FACTORS

S.D. Reznik, O.V. Hol'kina

The risk factors arising in the process of human resource management are discussed. An econometric estimation of the factors affecting the efficiency of human resources management in construction organizations is produced. The technology of risk management to improve the quality of human resource management in construction organizations is proposed.

Keywords: construction organization, human resources, management efficiency, econometric estimation, risk-management

Строительство обеспечивает условия для производительного использования средств и орудий труда других отраслей, создаёт условия для полноценного отдыха, здорового быта людей. Развитие строительного комплекса оказывает огромное влияние как на социальную, так и на экономическую сферу развития общества [1]. За развитием и функционированием строительной отрасли необходимо постоянно следить, анализировать ее состояние и принимать меры по улучшению ее работы. Особое внимание стоит уделять вопросам конкурентоспособности организаций.

Конкурентоспособность организации формируется за счет ее ресурсных факторов. Перечень источников обеспечения конкурентных преимуществ значителен, но в пер-

вую очередь он формируется за счет трудовых ресурсов организации [2]. Главным носителем способностей в организации является человек, он приводит в действие все производственные и организационные механизмы, именно он играет основную роль по созданию и использованию конкурентных преимуществ организации [3].

Недостаточно эффективное управление организацией может привести к возникновению различного рода рисков, в том числе кадровых.

Кадровые риски являются следствием недостаточной работы с человеческими ресурсами в организации и причиной возникновения всех других видов рисков в организации. Данная позиция обосновывает необходимость исследования и анализа причин, факторов, показателей возникновения кадровых рисков в организации, разработки и применения методов управления и минимизации кадровых рисков [4].

Учитывая актуальность данной темы, нами было проведено исследование, целью которого являлось выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность управления человеческими ресурсами в организации и предложение практических рекомендаций по улучшению качества управления человеческими ресурсами.

В процессе исследования:

- выявлены факторы, препятствующие повышению эффективности управления человеческими ресурсами;
- проведена эконометрическая оценка выявленных факторов;
- определены приоритетные направления по повышению эффективности управления человеческими ресурсами;
- предложены рекомендации по эффективному управлению человеческими ресурсами.

Для определения воздействия на эффективность управления человеческими ресурсами тех или иных факторов в нашем исследовании был применен метод экспертных оценок. В роли экспертов выступили 25 высококвалифицированных специалистов (руководители, заместители руководителей, начальники отделов) следующих строительных предприятий г. Пензы: ООО «Новотех», ОАО «Пензастрой», ООО ПКФ «Термодом», ООО «Рисан», ООО «Строй-тех», ООО «SKM-group», ООО «Монолит-строй», ООО «Стройзаказчик», ООО «Триплан», ООО «Фундамент».

На рассмотрение экспертам было представлено 36 качественных характеристик, оказывающих воздействие на эффективность управления человеческими ресурсами в строительных организациях. Данные факторы были предложены экспертам для определения ранга важности: 1 – самый высокий ранг, 36 – самый низкий ранг. В результате обработки данных экспертного опроса были рассчитаны ранги и удельные веса факторов, оказывающих влияние на качество управления человеческими ресурсами.

Результаты анализа мнений экспертов показали, что на эффективность управления человеческими ресурсами в строительных организациях влияет совокупность факторов, основными из которых являются:

1. Кадровое планирование и рациональность численного состава рабочих.
2. Инвестиции в развитие человеческих ресурсов.
3. Уровень производственной информированности работников.
4. Уровень социально-психологической совместимости в коллективе.
5. Уровень трудовой дисциплины.
6. Уровень текучести кадров.
7. Уровень производительности труда.
8. Территориальная рассредоточенность.
9. Поощрение предпринимательской, инновационной активности.
10. Наличие системы повышения квалификации и переподготовки кадров.
11. Уровень образования персонала.
12. Наличие корпоративной культуры.
13. Уровень соблюдения психофизических и эргономических норм условий труда.
14. Учет индивидуального трудового вклада.
15. Условия труда.

16. Уровень интеграции в труде, групповая работа коллектива.

17. Знание и выполнение должностных обязанностей.

Для более детального анализа влияния факторов на эффективность управления человеческими ресурсами был использован корреляционно-регрессионный метод анализа.

Корреляционно-регрессионный анализ предназначен для выбора формы связи и типа модели для определения расчетных значений зависимой переменной (результативного признака). Он позволяет качественно оценить статистическую связь между двумя или более взаимодействующими явлениями, разделить влияние комплекса факторных признаков, анализировать различные стороны сложной системы взаимосвязей [5].

При проведении корреляционно-регрессионного анализа строят различные корреляционные и регрессионные модели хозяйственной деятельности. В этих моделях выделяют факторные и результативные показатели (признаки).

Из совокупности факторов, влияющих на эффективность управления человеческими ресурсами, нами были выделены те факторы, которые позволяют оценить экономическую, социально-экономическую и социальную эффективность управления человеческими ресурсами (табл. 1).

Анализ факторов эффективности управления человеческими ресурсами является средством, помогающим руководителю увидеть и оценить качество системы управления человеческими ресурсами в целом и те недостатки, которые следует в процессе работы устранить или скорректировать.

Т а б л и ц а 1

Показатели эффективности управления человеческими ресурсами, включенные в корреляционно-регрессионный анализ

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения
Показатели экономической эффективности управления человеческими ресурсами		
1	Объем реализации на одного сотрудника	Тыс.руб.
2	Потерянная производительность	Тыс.руб.
3	Инвестиции на одного сотрудника	Тыс.руб.
Показатели социально-экономической эффективности управления человеческими ресурсами		
4	Коэффициент внутренней мобильности	%
5	Доля часов, затраченных на профессиональное обучение	%
6	Доля издержек на профессиональное обучение в объеме реализации	%
Показатели социальной эффективности управления человеческими ресурсами		
7	Коэффициент текучести кадров	%
8	Коэффициент абсентеизма (отношение числа дней невыхода на работу к общему количеству рабочих дней в месяц, год)	%
9	Коэффициент трудовой дисциплины	%

С помощью данных показателей мы определили степень влияния каждого факторного показателя на эффективность управления человеческими ресурсами в организации и построили многофакторные регрессионные модели. В табл. 2 отражены полученные результаты расчета.

Эконометрическая оценка факторов, влияющих на эффективность управления человеческими ресурсами, была выполнена с использованием расчетных формул (см. табл. 2).

Результаты расчета эконометрической оценки анализируемых факторов

№ п/п	Наименование показателя	Расчетная формула	Условные обозначения	Полученный показатель / Направление эффективности управления
1	Остаточная дисперсия	$\sigma_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n}$	$\sum (y - \hat{y})^2$ – общая сумма квадратов отклонений; n – число наблюдений	$\sigma_{\text{ост}}^2 = 935,97$ (Э)
				$\sigma_{\text{ост}}^2 = 0,016$ (С – Э)
				$\sigma_{\text{ост}}^2 = 12,624$ (С)
2	Коэффициент стандартизированного уравнения регрессии	$\beta_1 = b_1 \cdot \frac{\sigma_{x1}}{\sigma_y}$ $\beta_2 = b_2 \cdot \frac{\sigma_{x2}}{\sigma_y}$	σ_{xi} – среднее квадратическое отклонение; b_1 – коэффициенты «чистой» регрессии	$\beta_1 = 0,814 \quad \beta_2 = 0,246$ (Э)
				$\beta_1 = 0,543 \quad \beta_2 = 0,429$ (С – Э)
				$\beta_1 = 0,881 \quad \beta_2 = 0,018$ (С)
3	Стандартизированное уравнение регрессии	$\hat{t}_y = \beta_1 t_{x1} + \beta_2 t_{x2} + \varepsilon$	β_i – стандартизованный коэффициент регрессии; t_{xi} – стандартизированные переменные	$\hat{t}_y = 0,814 \cdot t_{x1} + 0,246 \cdot t_{x2}$ (Э)
				$\hat{t}_y = 0,543 \cdot t_{x1} + 0,429 \cdot t_{x2}$ (С – Э)
				$\hat{t}_y = 0,881 \cdot t_{x1} + 0,018 \cdot t_{x2}$ (С)
4	Уравнение множественной регрессии	$\hat{y} = a + b_1 x_1 + b_2 x_2$	y – зависимая переменная (результативный признак); x – независимые переменные (признаки-факторы); b_1 – коэффициенты «чистой» регрессии	$\hat{y} = 272,639 + 0,65x_1 + 0,032x_2$ (Э)
				$\hat{y} = -0,012 + 0,51x_1 + 0,24x_2$ (С – Э)
				$\hat{y} = -2,81 + 0,883x_1 + 0,03x_2$ (С)
5	Нескорректированный коэффициент множественной регрессии	$R_{yx1x2} = \sqrt{\sum \beta_i \cdot r_{yxi}}$	β_i – стандартизованный коэффициент регрессии; r_{yxi} – коэффициент межфакторной корреляции	$R_{yx1x2}^2 = 0,933$ (Э)
				$R_{yx1x2}^2 = 0,577$ (С – Э)
				$R_{yx1x2}^2 = 0,774$ (С)
6	F-критерий Фишера	$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}$	n – число наблюдений; m – число параметров при переменной x ; R^2 – скорректированный индекс множественной детерминации	$F_{\text{факт}} = 48,74$ (Э)
				$F_{\text{факт}} = 4,774$ (С – Э)
				$F_{\text{факт}} = 12,005$ (С)

П р и м е ч а н и е : Э – экономическая эффективность управления; С-Э – социально-экономическая эффективность управления; С – социальная эффективность управления.

В качестве результативного показателя, характеризующего экономическую эффективность управления человеческими ресурсами, был выбран объем реализации на одного сотрудника. Результативным показателем, характеризующим социальную эффективность управления человеческими ресурсами, стал коэффициент текучести кадров. Для социально-экономической эффективности управления человеческими ресурсами результативным показателем выступил коэффициент мобильности персонала.

С помощью первого стандартизированного уравнения, которое характеризует экономическую эффективность управления, мы видим, что на увеличение объема реализации на одного сотрудника положительное влияние в большей степени оказывает увеличение издержек на одного сотрудника, чем рост потерянной производительности.

Расчет второго стандартизированного уравнения (социально-экономическая эффективность) показал, что коэффициент мобильности персонала может значительно повыситься при увеличении доли часов на профессиональное обучение персонала, чем под воздействием доли издержек на профессиональное обучение в общем объеме реализации.

Что же касается социальной эффективности управления, то из третьего уравнения стало известно, что на коэффициент текучести кадров оказывает наибольшее воздействие увеличение коэффициента абсентеизма, чем снижение уровня трудовой дисциплины.

Стандартизированное уравнение регрессии для каждого направления эффективности позволило установить, какой из двух анализируемых факторов имеет наибольшее влияние.

С помощью построения уравнения множественной регрессии можно узнать, насколько изменится результативный показатель при изменении одной величины на 1 %.

Уравнение регрессии экономической эффективности показывает, что при увеличении инвестиций на персонал на 1 % (при неизменном уровне потерянной производительности) объем реализации на одного сотрудника увеличится на 0,65 тыс.руб., а при росте уровня потерянной производительности на 1 % (при неизменном уровне инвестиций в персонал) объем реализации на одного сотрудника сможет увеличиться всего лишь на 0,032 тыс.руб.

При расчете социально-экономического уравнения множественной регрессии выявлено следующее: при увеличении доли часов на профессиональное обучение персонала на 1 % (при неизменном уровне доли издержек на профессиональное обучение в объеме реализации) коэффициент мобильности персонала увеличится на 51 %, а при росте доли издержек на профессиональное обучение на 1 % (при неизменном уровне доли часов на профессиональное обучение персонала) коэффициент мобильности сможет увеличиться на 24 %.

Расчет уравнения регрессии (социальная эффективность) показывает, что при увеличении коэффициента абсентеизма на 1 % (при неизменном уровне трудовой дисциплины) коэффициент текучести кадров увеличится на 83,3 %, а при росте уровня трудовой дисциплины на 1 % (при неизменном уровне коэффициента абсентеизма) коэффициент текучести кадров сможет увеличиться на 3 %.

Расчет уравнения множественной регрессии показал в количественном отношении степень изменения результативного показателя.

Корреляционно-регрессионный анализ позволил измерить тесноту связи факторных показателей с результативным с использованием нескорректированного коэффициента множественной детерминации.

Нескорректированный коэффициент множественной детерминации: $R^2_{yx1x2} = 93,3\%$ (экономической эффективности), $R^2_{yx1x2} = 57,7\%$ (социально-экономической эффективности), $R^2_{yx1x2} = 77,4\%$ (социальной эффективности). Полученные коэффициенты указывают на весьма высокую связь факторов с результатом.

В заключение проведения эконометрической оценки необходимо было оценить надежность построенных уравнений регрессии. Оценку надежности уравнения регрессии

в целом и показателя тесноты связи R_{yx1x2} дает F -критерий Фишера (при сравнении фактических показателей с табличными).

В нашем случае сравнение фактического значения с табличным значением выглядит следующим образом:

1. Экономическая эффективность управления: $F_{\text{факт}}=48,74 > F_{\text{табл}}=4,10$.
2. Социально-экономическая эффективность: $F_{\text{факт}}=4,774 > F_{\text{табл}}=4,10$.
3. Социальная оценка эффективности: $F_{\text{факт}}=12,005 > F_{\text{табл}}=4,10$.

Во всех представленных случаях вероятность случайно получить такое значение F -критерия не превышает допустимый уровень значимости 5%. Следовательно, полученные значения не случайны, они сформировались под влиянием существенных факторов. Полученный результат подтверждает статистическую значимость всех уравнений и показателей тесноты связи R_{yx1x2} .

Проведенный корреляционно-регрессионный анализ позволил определить приоритетные направления работы по повышению эффективности управления человеческими ресурсами в строительных организациях. Руководителям следует обратить особое внимание на увеличение количества инвестиций в персонал, увеличение объема часов профессионального обучения, сокращение уровня абсентеизма.

Проведенный нами анализ позволяет выявить слабые места в процессе управления человеческими ресурсами и возможное появление кадровых рисков в рассматриваемых строительных организациях:

1. Снижение квалификационного уровня сотрудников. О повышении вероятности данного риска сигнализирует снижение доли сотрудников, имеющих базовую профессиональную подготовку (переподготовку), соответствующую занимаемой должности.
2. Систематическое несоответствие плановой и фактической численности персонала (в целом и по отдельным профессионально-квалификационным группам) и невозможность своевременного укомплектования штата.
3. Риски, связанные с увольнением работников: несвоевременное замещение вакантных рабочих мест; несвоевременное высвобождение персонала при наличии скрытой безработицы в подразделениях организации; риски неадекватной мотивации сотрудников; риски нелояльности.

На основе проведенного анализа для повышения эффективности управления человеческими ресурсами руководителям строительных организаций мы рекомендуем использовать технологии риск-менеджмента. Использование технологий риск-менеджмента основано на нескольких его инструментах.

I инструмент – стратегическое планирование и управление в системе управления человеческими ресурсами как метод компенсации риска. Инструмент направлен на раннее выявление источников рисков и разработку компенсирующих мероприятий, например профилактику таких явлений, как текучесть кадров, абсентеизм персонала, низкий уровень социально-психологического климата, реализацию планов использования внутреннего кадрового потенциала.

II инструмент – прогнозирование в системе управления человеческими ресурсами. Инструмент прогнозирования нацелен на выявление закономерностей развития события, связанных с работой персонала организаций.

III инструмент – организационно-кадровый аудит и кадровый контроллинг. В основе данного инструмента лежит мониторинг основных кадровых элементов, предполагающий отслеживание текущей информации о соответствующих процессах во всех подсистемах системы управления человеческими ресурсами.

Выявление, анализ и мониторинг рискообразующих факторов позволяет целенаправленно управлять кадровыми рисками и производить их оценку.

Таким образом, проведенное нами исследование доказало значимость изучаемой проблемы. Выявленные факторы эффективности управления человеческими ресурсами были классифицированы на экономические, социальные и психологические. Проведенный корреляционно-регрессионный анализ позволил определить тесноту связи между выявленными факторами.

Построение моделей множественной корреляции и регрессии дало количественную оценку значимости каждого проанализированного фактора и степени их влияния на эффективность управления человеческими ресурсами.

Выделены приоритетные направления работы по повышению эффективности управления человеческими ресурсами: увеличение количества инвестиций в персонал, увеличение объема часов профессионального обучения, сокращение уровня абсентеизма. Руководителям строительных организаций следует обратить особое внимание именно на выделенные показатели, так как они оказывают значительное влияние на эффективность управления человеческими ресурсами в организации.

Проведенный эконометрический анализ позволил предложить руководителям следующие практические рекомендации: стратегическое планирование и прогнозирование качественного и количественного состава персонала, организационно-кадровый аудит и контроллинг персонала, своевременное выявление и оценка рискообразующих факторов.

Данные рекомендации направлены на сокращение уровня текучести персонала, на повышение уровня трудовой дисциплины, улучшение психологического климата в коллективе и на рост уровня производительности труда.

Список литературы

1. Глухова, И.В. О экономико-статистическом состоянии и развитии предприятий строительной сферы в Пензенской области / И.В. Глухова, О.В. Холькина // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 12–2. – С. 636–639.
2. Резник, С.Д. Управление трудовой дисциплиной на основе контроллинга персонала в строительных организациях / С.Д. Резник, О.В. Холькина // Строительство. Экономика и управление. – 2015. – №3(19). – С.2.
3. Резник, С.Д. Управление человеческим потенциалом современной организации / С.Д. Резник. – Пенза: ПГУАС, 2004. – 583 с.
4. Нечаева, Е.С. Анализ и прогнозирование кадровых рисков в организациях / Е.С. Нечаева // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2013. – №1. – С.145–154.
5. Вильчинская, О.В. Корреляционно-регрессионный анализ в оценке взаимосвязи показателей социально-экономического развития муниципальных образований / О.В. Вильчинская, Л.А. Тарханова // Проблемы региональной экономики. – 2010. – №3. – С.148–159.

References

1. Glukhova, I.V. Economics and statistical status and development of the construction sector enterprises in the Penza region / I.V. Glukhova, O.V. Holkina // Economics and entrepreneurship. – 2014. – No. 12–2. – P. 636–639.
2. Reznik, S.D. Management of labor discipline on the basis of personnel controlling in construction companies / S.D. Reznik, O.V. Holkina // Construction. Economics and management. – 2015. – №3(19). – P. 2.
3. Reznik, S.D. Human resources management of the modern organization / S.D. Resnick. – Penza: PGUAS, 2004. – 583 p.
4. Nechaeva, E.S. Analysis and forecasting of HR risks in organizations / E.S. Nechaeva // Proceedings of Tula State University. Economics and HAN. – 2013. – No. 1. – P. 145–154.
5. Wilczynski, O.V. Correlation and regression analysis in assessing the relationship of indicators of socio-economic development of municipalities / O.V. Wilczynski, L.A. Tarkhanov // Problems of regional economy. – 2010. – No. 3. – P. 148–159.

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

Усатенко Анна Николаевна,
старший преподаватель кафедры
«Экономика, организация и управление
производством»
E-mail: usatenkoan@yandex.ru

Учаева Татьяна Владимировна,
кандидат экономических наук,
доцент кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Usatenko Anna Nikolaevna
Senior lecturer of the department «Economics,
Organization and Management of
Production»
E-mail: usatenkoan@yandex.ru

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Candidate of Economics, Associate Professor
of the department «Economics, Organization
and Management of Production »
E-mail: uchaevatv@mail.ru

РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРИБЫЛИ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.Н. Усатенко, Т.В. Учаева

Рассмотрены основные элементы финансовых результатов предприятия – прибыль и рентабельность. Показаны резервы увеличения данных показателей. Произведен расчет эффективности от предложенных рекомендаций.

Ключевые слова: строительное предприятие, финансовые результаты, прибыль, рентабельность, резервы повышения прибыли и рентабельности

RESERVES OF PROFIT AND PROFITABILITY INCREASE OF CONSTRUCTION COMPANIES

A.N. Usatenko, T.V. Uchaeva

This article describes the basic elements of enterprise financial results: profit and profitability. Showing reserves increased data rates. The calculation of the efficiency of the proposed recommendations

Keywords: construction company, financial results, profit, profitability, reserves profit increase and profitability

В условиях рыночной конкуренции строительное предприятие должно стремиться не только к получению максимальной прибыли, но и к динамичному развитию производства с целью удержания своих позиций в рыночных отношениях. В свою очередь, это предполагает знание и учет различных факторов, оказывающих влияние на финансовые результаты.

Финансовые результаты деятельности предприятия характеризуются суммой полученной прибыли и уровнем рентабельности [1, 2].

Основными факторами и источниками резервов увеличения суммы прибыли будут являться: повышение объема реализации продукции; снижение себестоимости продукции; повышение качества конечной продукции т.д.

Основными факторами повышения уровня рентабельности предприятия являются: показатели, увеличивающие сумму прибыли, а также эффективность использования оборотных средств и основных фондов.

Тем не менее, зная основные факторы, влияющие на сумму прибыли и рентабельности предприятия, целесообразно рассмотреть резервы и пути их повышения.

Резервы роста прибыли – это количественно измеримые возможности ее дополнительного получения. Они выявляются как на стадии планирования, так и в процессе выполнения планов

При подсчете резервов роста прибыли за счет возможного роста объема реализации используются результаты анализа выпуска и реализации продукции.

Расчет резервов прибыли был произведен по данным предприятия МУП «Пензгорстройзаказчик» [1].

Если прибыль рассчитана на рубль продукции, сумма резерва ее роста за счет увеличения объема реализации определяется по формуле

$$\Delta\Pi = B_{\Pi} \cdot \left(\frac{\Pi_{P1}}{B_{P1}} \right), \quad (1)$$

где B_{Π} – потенциально возможное увеличение объема (резерв роста) реализованной продукции (выручка), руб.; Π_{P1} – фактическая прибыль от продажи продукции в отчетном году, руб.; B_{P1} – фактический объем реализованной продукции в отчетном году, руб. На рисунке показан резерв роста реализованной продукции.



Резерв роста реализованной продукции МУП «Пензгорстройзаказчик»

$$\Delta B_{\Pi} = 487500 - B_{\Pi} = 487500 - 364059 = 123441 \text{ тыс. руб.}$$

$$\Delta \Pi_B = 123441 \cdot (262900 / 364059) = 89141,2 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, увеличив объем выпуска продукции в стоимостном выражении на 123441 тыс. руб. по прогнозному значению, МУП «Пензгорстройзаказчик» увеличит свою прибыль на 89141,2 тыс. руб.

Важное направление поиска резервов роста прибыли МУП «Пензгорстройзаказчик» – снижение затрат на производство и реализацию продукции (сырья и материалов, топлива, энергии, амортизации основных фондов и других расходов).

Для выявления и подсчета резервов роста прибыли МУП «Пензгорстройзаказчик» за счет снижения себестоимости используется метод сравнения. При сравнительном методе количественного измерения резервов их величина определяется путем сравнения достигнутого уровня затрат с их потенциальной величиной:

$$P_i^c = C_{\Phi_i} - C_{\Pi_i}, \quad (2)$$

где P_i^c – резерв снижения себестоимости продукции за счет i -го вида ресурсов; C_{Φ_i} – фактический уровень использования i -го вида производственных ресурсов; C_{Π_i} – потенциальный уровень использования i -го вида производственных ресурсов.

Обобщающая количественная оценка общей суммы резерва снижения себестоимости продукции производится путем суммирования их величины по отдельным видам ресурсов:

$$P^c = \sum_{i=1}^n P_i^c, \quad (3)$$

где P^c – общая величина резерва снижения себестоимости продукции; P_i^c – резерв снижения себестоимости по i -му виду производственных ресурсов.

Если анализу прибыли предшествует анализ себестоимости продукции и определена общая сумма резерва ее снижения, то расчет резерва роста прибыли производится по формуле

$$P_{(c)}^{\Pi} = Z_{\text{в}} \cdot (V + PV), \quad (4)$$

где $P_{(c)}^{\Pi}$ – резерв увеличения прибыли за счет снижения себестоимости продукции; $Z_{\text{в}}$ – возможное снижение затрат на рубль продукции; V – фактический объем реализованной продукции за изучаемый период; PV – возможное увеличение объема реализации продукции.

Затраты на производство и реализацию произведенной продукции в целом и по статьям за отчетный год (фактически и по плану), а также за предшествующий год представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Затраты на производство и реализацию продукции МУП «Пензгорстройзаказчик» за 2013–2014 годы

Статьи затрат	2013 г. тыс.руб.	2014 г. тыс.руб.	
		план	факт
Материальные затраты	2 378	3176	2432
Расходы на оплату труда	16670	21101	19939
Отчисления на социальные нужды	4644	5910	5619
Амортизация	3993	5447	5447
Прочие затраты	19488	26574	28016
Итого расходы по обычным видам деятельности	47173	62208	61453

В 2014 г. затраты сократились в сравнении с планом на 755 тыс.руб. в связи со снижением фактического объема производства продукции, работ, в том числе за счет снижения по статьям «Материальные затраты» на 744 тыс.руб., «Расходы на оплату труда» – на 1162 тыс.руб., а «Отчисления на социальные нужды» – на 291 тыс.руб. В то же время «Прочие затраты» возросли на 1442 тыс.руб.

Был произведен перерасчет затрат на производство и реализацию продукции по статьям на 1 рубль произведенной и реализованной продукции, используя формулу: общая сумма затрат / объем товарной продукции в ценах реализации (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Затраты на 1 рубль товарной продукции МУП «Пензгорстройзаказчик» за 2013–2014 годы

Статьи затрат	2013 г. коп.	2014 г. коп.	
		план	факт
Выручка- нетто тыс. руб	126736	279661	256891
Материальные затраты	1,88	1,15	0,95
Расходы на оплату труда	13,15	7,68	7,76
Отчисления на социальные нужды	3,66	2,15	2,19
Амортизация	3,15	1,98	2,12
Прочие затраты	15,38	9,67	10,9
Итого расходы по обычным видам деятельности	37,22	22,65	23,92

Как показывают данные табл. 2, существуют резервы снижения себестоимости продукции за счет уменьшения затрат на расходы на оплату труда, отчислений на социальные нужды, прочие затраты (расходы на амортизацию уменьшить предприятие не может).

Возможное снижение затрат на рубль товарной продукции равно:

$$(7,76 + 2,19 + 10,9) - (7,68 + 2,15 + 9,67) = 1,35 \text{ коп.} = 0,0135 \text{ руб.}$$

Затраты на рубль товарной продукции в 2013 году составили 0,2392 руб. Снижение этой суммы на 0,01315 руб. позволит увеличить сумму прибыли. Рассчитаем резерв увеличения суммы прибыли за счет снижения себестоимости:

$$P_{\text{пс}} = 0,0135 \cdot (256891 + 123441) = 5134,5 \text{ тыс.руб.}$$

А это, в свою очередь, повысит рентабельность продаж.

Фактическая рентабельность продаж в 2013 г. составила 76,08 %.

Возможная рентабельность продаж при снижении на 0,0135 руб. затрат на рубль реализованной продукции составит:

$$(195438 + 5134,5) / (256891 + 123441) \cdot 100 \% = 53 \%, \text{ т.е на } 22,92 \% \text{ меньше.}$$

Расчет резерва роста прибыли в результате сокращения численности работников ($\Delta\Pi_{\text{ч}}$) рассчитывается по формуле

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} = (\text{Ч} \cdot \text{З}_{\text{ч}}) + (\text{Ч} \cdot \text{З}_{\text{ч}}) \cdot E_{\text{н}},$$

где Ч – среднегодовая численность сокращаемых работников; $\text{З}_{\text{ч}}$ – средняя плановая заработная плата одного высвобождаемого работника за год; $E_{\text{н}}$ – страховые взносы.

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} = (1 \cdot 356231) + (1 \cdot 356231) \cdot 36 \% = 484,4742 \text{ тыс. руб.}$$

Для подсчета резервов увеличения рентабельности продукции может быть использована следующая формула:

$$P_R = R_{\text{в}} - R_{\text{ф}} = \frac{\Pi_{\text{ф}} + P^{\text{прод}}}{C_{\text{в}}} - \frac{\Pi_{\text{ф}}}{\text{З}_{\text{ф}}},$$

где P_R – резерв роста рентабельности; $R_{\text{в}}$ – рентабельность возможная; $R_{\text{ф}}$ – рентабельность фактическая; $\Pi_{\text{ф}}$ – фактическая сумма прибыли; $P^{\text{прод}}$ – резерв роста прибыли от продаж продукции; $C_{\text{в}}$ – возможная себестоимость продукции с учетом выявленных резервов; $\text{З}_{\text{ф}}$ – фактическая сумма затрат по реализованной продукции.

Возможная сумма затрат на рубль товарной продукции:

$$0,2392 - 0,01315 = 0,22605 \text{ руб.}$$

Умножим эту сумму затрат на возможный объем товарной продукции, выраженный в стоимостном выражении (380332 тыс. руб.), получим значение суммы возможной себестоимости:

$$C_{\text{в}} = 0,22605 \cdot (256891 + 123441) = 85\,974,05 \text{ тыс. руб.}$$

Подставив все известные данные в формулу, вычислим резерв увеличения рентабельности производственной деятельности МУП «Пензгорстройзаказчик» за счет названных выше факторов:

$$P_R = (195438 + 94760,2) / 85974,05 - (195438 / 61453) = 19,51 \%$$

Подсчитав резерв увеличения рентабельности продукции, делаем вывод, что рентабельность производственной деятельности после внедрения описанных выше мероприятий может увеличиться на 19,51 %.

Таким образом, предложенные рекомендации по повышению прибыли и рентабельности позволят МУП «Пензгорстройзаказчик» получить дополнительную при-

быль в сумме 94760,2 тыс. руб. и увеличить рентабельность производства (окупаемость затрат) на 19,51 %.

Также для улучшения финансовых результатов предприятию необходимо использовать свои внутренние возможности [3]: увеличение доли на рынке, привлечение инвестиций, увеличение доли инновационной продукции, применение информационных технологий и т.д [2].

Любое строительное предприятие обязательно в своей деятельности должно проводить финансово-хозяйственный анализ, выявлять причины снижения некоторых коэффициентов, разрабатывать меры по их улучшению [4].

Список литературы

1. Учаева, Т.В. Повышение финансовых результатов строительного предприятия / Т.В. Учаева, А.Н. Усатенко // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №5. – С.138–143.
2. Учаева, Т.В. Повышение эффективности деятельности предприятия промышленности строительных материалов / Т.В. Учаева, О.В. Лонцакова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – №1. – С.37–42.
3. Учаева, Т.В. Использование внутренних возможностей предприятия как основа повышение его потенциала / Т.В. Учаева // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 11. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/11/40402>
4. Учаева, Т.В. Роль финансового анализа в повышении эффективности деятельности строительного предприятия / Т.В. Учаева, Д.С. Иванова // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2 (27). – С.161–166.

References

1. Uchaeva, T.V. Improving the financial results of construction companies / T.V. Uchaeva, A.N. Usatenko // Education and science in the modern world. Innovation. – 2016. – №5. – P.138–143.
2. Uchaeva, T.V. Improving the efficiency of industrial enterprises of building materials / T.V. Uchaeva, O.V. Lonschakova // Vestnik PGUAS construction, science and education. – 2016. – №1. – P.37–42.
3. Uchaeva, T.V. Using the internal capabilities of the enterprise as a basis for increasing its capacity / T.V. Uchaeva // Modern scientific research and innovation. – 2014. – № 11. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/11/40402>
4. Uchaeva, T.V. The role of financial analysis in improving the efficiency of a construction enterprise / T.V. Uchaeva, D.S. Ivanova // Regional architecture and engineering. – 2016. – №2 (27). – P.161–166.

УДК 69.009 +37.07+331.108.4

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Болдырев Сергей Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»,
проректор по учебной работе
E-mail: boldyrev-s@ya.ru

Гарькин Игорь Николаевич,
кандидат исторических наук, директор
Центра практики студентов и содействия
трудоустройству выпускников
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Медведева Линара Марсовна,
специалист по учебно-методической
работе 1-й категории
E-mail: linara-medvedeva@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

Boldyrev Sergey Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building constructions»,
Vice-Rector for academic work
E-mail: boldyrev-s@ya.ru

Garkin Igor Nikolaevich,
Candidate of Historical Sciences, Director of
the Center of practice of and promotion of
students employment of graduates
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Medvedeva Linara Marsovna,
Specialist on educational and methodical
work
E-mail: linara-medvedeva@mail.ru

ФОРМЫ РАБОТЫ ЦЕНТРА ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ И СОДЕЙСТВИЯ ТРУДОУСТРОЙСТВУ ВЫПУСКНИКОВ

С.А. Болдырев, И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева

С использованием опыта работы Пензенского государственного университета архитектуры и строительства определяются формы работы центра практики студентов и содействия трудоустройству выпускников.

Ключевые слова: центр трудоустройства выпускников, организация практики, формы работы по трудоустройству

FORMS OF WORK OF THE STUDENTS PRACTICE AND GRADUATE EMPLOYMENT CENTRE

S.A. Boldyrev, I.N. Garkin, L.M. Medvedeva

Using the experience of the Penza State University of Architecture and Construction forms of work of the students practice and of graduate employment centre are defined.

Keywords: graduate employment center, organization of practice, forms work for employment

Современный финансово-экономический кризис породил множество проблем во всех сферах общества, особенно обострились проблемы в сфере занятости населения; в наиболее сложном положении оказались социально уязвимые группы населения (инвалиды, женщины, молодёжь). Напряженная ситуация сложилась на российском рынке труда; снизилась конкурентоспособность молодёжи, в основном обусловленная отсутствием стажа работы и профессионального опыта. Молодежь, по данным Росстата, составляет около 35 % трудоспособного населения страны и является одним из главных факторов развития народного хозяйства. Поэтому решение проблем молодежной занятости является одним из приоритетных направлений государственной политики. Не случайно одним из важнейших критериев эффективности работы ВУЗов принят показатель трудоустройства выпускников по специальности.

Решению проблем трудоустройства выпускников способствует эффективное взаимодействие ВУЗов с работодателями. Для организации работ в этом направлении в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства (ПГУАС) уже в 1991 г. был создан Центр маркетинга и содействия трудоустройству выпускников (далее – Центр); в 2010 г. он был преобразован в Центр практики студентов и содействия трудоустройству выпускников. В настоящее время деятельность центра направлена в основном на организацию всех видов производственных практик студентов и выпускников по полученной профессии на предприятиях-партнерах университета, предоставляющих места для проведения практик, и содействие в дальнейшем трудоустройстве выпускников [1, 2].

Достижение основной цели предполагает выполнением Центром следующих основных функций:

- организация временной занятости в свободное от учебы время и трудоустройство по окончании ВУЗа;

- сбор и обработка информации о спросе и предложениях на специалистов на рынке труда; прогнозирование развития ситуации с учётом специфики ВУЗа на рынке образовательных услуг и стратегических ориентиров для подготовки специалистов;

- взаимодействие с работодателями, с органами власти, общественными организациями; решение других текущих задач по проблемам трудоустройства;

- психологическое сопровождение будущих специалистов (адаптация выпускников к первой работе).

Центром выполняется основная организационная и координирующая функция по организации практики и содействию трудоустройству (ответственные на кафедрах, факультетах; подразделения ВУЗа, определённые ректоратом) [3].

Решение проблем эффективного взаимодействия системы высшего образования с рынком труда связано с развитием взаимоотношений между ВУЗом и работодателями и предусматривает интеграцию их деятельности в сфере подготовки и трудоустройства специалистов [4]. Партнерские отношения, учитывающие интересы обеих сторон, совместная скоординированная деятельность на долгосрочную перспективу отражены в программе ПГУАС «Стратегическое партнерство». Взаимодействие ВУЗа с работодателями позволяет повысить мотивацию студентов к получению знаний, приобретению профессиональных компетенций (способствует повышению успеваемости, эффективности прохождения производственных практик). Работодателями может непосредственно осуществляться предварительная оценка и отбор перспективных студентов в качестве будущих сотрудников.

Ежегодно в университете проводится выставка дипломных проектов и ярмарка вакансий выпускников, на которых присутствуют представители власти и руководители ведущих строительных предприятий города, области и соседних регионов. Здесь будущие выпускники получают возможность установить прямой контакт с работодателями и получить перспективы трудоустройства.

Центром в течение всего учебного года организуются встречи студентов и выпускников с работодателями, осуществляются презентации, выставки предприятий (около 20 за учебный год), на которых будущие выпускники могут напрямую узнать интересующую их информацию о возможном трудоустройстве, пройти собеседование и найти работу. Совместно с организациями и предприятиями регулярно проводятся «Дни карьеры» (около 40 за учебный год). Центром при участии приглашенных внешних экспертов (представители органов власти и бизнес-сообщества) реализуются образовательные проекты по успешному построению карьеры («RusWorks» [5], «СтройКадры» [6] и др.); организуются экскурсии на предприятия для практического ознакомления с технологическими процессами производства.

Постоянно укрепляется информационный блок (сайт ВУЗа <http://www.pguas.ru/unit/cmistv/task>, страница Центра ВКонтакте <https://new.vk.com/id274542956>, информационные стенды), что позволяет повысить эффективность деятельности Центра по решению проблем занятости студентов и выпускников.

Центром учитывается многогранность проблемы трудоустройства выпускников. С одной стороны, она представляет собой острую социальную проблему, решение которой во многом предопределяет социально-экономическое развитие общества. Поэтому при выборе профессии и ВУЗа большинство абитуриентов и их родителей оценивают, прежде всего, перспективы трудоустройства выпускников данного ВУЗа, качество предлагаемых им вакансий, перспективы профессионального и карьерного роста. Наличие у ВУЗа долговременных партнерских отношений с широким кругом работодателей определяет и конкурентоспособность ВУЗа на рынке образовательных услуг.

На протяжении многих лет в ПГУАС функционируют строительные и студенческие отряды (неоднократно остановились победителями и призерами конкурсов по направлениям своей работы), играющие немаловажную роль при трудоустройстве. Центр активно сотрудничает со стройотрядами по вопросам производственной практики. Члены отрядов (до 90 человек) приобретают профессиональные навыки и компетенции, получают опыт работы, закрепляются полученные в процессе учебы знания. С 2015 г. Центр сотрудничает с рядом общественных организаций (ОО «Мобильные кадры страны», Некоммерческое партнёрство «Союз Пензенских строителей» и др.); свыше 40 человек направлены на крупные строительные объекты России. Центру удалось организовать успешное взаимодействие с городским (г. Пенза) Центром занятости, что способствовало участию выпускников в региональных программах, направленных на снижение напряженности на рынке труда, АО «Пензастрой», ООО «Пензапромстрой», ООО ПКФ «Термодом», АО «Рисан», МУП «Пензгорстройказчик», АО «ЖБК-1», АО «Сурская Ривьера» и др. Центр сотрудничает и с предприятиями Московской, Самарской, Белгородской, Новгородской, Ульяновской, Саратовской и др. областей. Выпускники ПГУАС (по данным Главного информационно-вычислительного центра при Минобрнауки России) работают в 40 регионах страны. Значительная часть выпускников (65,4 %) остается в родном регионе, где их средняя заработная плата составляет около 15000 рублей. Для сравнения: средняя заработная плата трудоустроенных в Ямало-Ненецком автономном округе, – 105410 рублей (0,42 % выпускников); на втором месте – у выпускников, работающих в Чукотском автономном округе – 69190 рублей (0,14 % выпускников); на третьем – в г. Москве и Московской области – 32430 рублей (19,07 %).

По данным сайта <http://graduate.edu.ru/>, средняя заработная плата молодых специалистов составляет 20468 рублей. Самая высокая заработная плата у выпускников по направлению подготовки «Технологии транспортных процессов» – 49680 рублей, самая низкая – «Землеустройство и кадастры» – 14424 рублей. По укрупненным группам направлений в ПГУАС самые высокие доходы получают выпускники по направлению «Технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств», на втором месте выпускники автомобильно-дорожного института, на третьем – выпускники института экономики и менеджмента (рис.1).

Рейтинг востребованности выпускников по направлениям подготовки, составленный на основе заявок от работодателей на вакансии, приведен на рис.2. Самыми востребованными являются выпускники направлений: «Стандартизация и метрология», «Архитектура» и «Дизайн».

Для совершенствования работы Центра целесообразно иметь отдельный портал по практике и трудоустройству. Это позволит:

- разместить студентам и выпускникам свои резюме, что будет способствовать определению мест практики и/или работы;
- разместить работодателям информацию о вакансиях и найти соискателей;
- проводить на базе ПГУАС выставки строительных организаций и предприятий не только г. Пензы и Пензенской области, но и других регионов страны;
- ввести систему сертификации мест проведения производственных практик для предприятий.



Рис. 1. Средняя заработная плата выпускников 2015 г. по укрупненным группам направлений подготовки (в рублях)

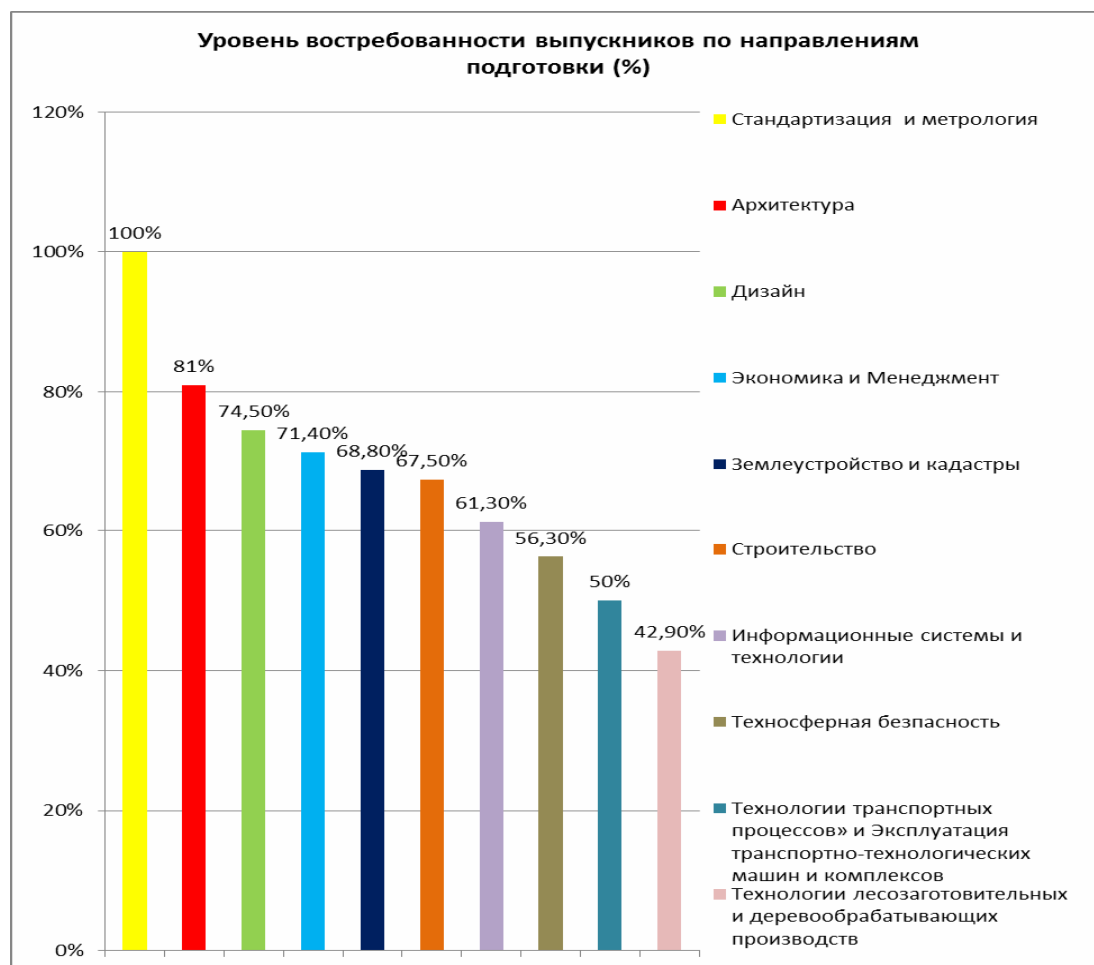


Рис. 2. Востребованность выпускников по направлениям подготовки (%)

Таким образом, функционирование действующего в ПГУАС Центра способствует адаптации молодых специалистов к рынку труда с учётом долгосрочных тенденций и позволяет снизить уровень социальной напряженности на рынке труда.

Список литературы

1. Гарькин, И.Н. Производственная практика студентов строительных специальностей на предприятиях агропромышленного комплекса / И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева, М.В. Глухова // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 1. – №6. – С.36–39.
2. Гарькин, И.Н. Организация трудоустройства выпускников направления «Техносферная безопасность» на предприятия агропромышленного сектора / И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева, О.В. Назарова // Успехи современной науки и образования. – 2016. – Т. 1. – №6. – С.87–90.
3. Данилов, А.М. Подготовка бакалавров: компетентностный подход, междисциплинарность / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С.192–199.
4. Данилов, А.М. ВУЗ как система / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3. – С.138–143.
5. Гарькин, И.Н. Опыт реализации проекта по трудоустройству студентов «RusWorks» / И.Н. Гарькин, Н.В. Агафонкина, Л.М. Медведева // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №3. – С.146–150.
6. Гарькин, И.Н. Реализация социально-образовательных проектов «СтройКадры» и «Юные исследователи» как одна из форм профориентационной работы / И.Н. Гарькин, И.А. Гарькина // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. – URL: <http://www.science-education.ru/115-12056>.

References

1. Garkin, I.N. Industrial practice of students of building specialties at enterprises of agriculture / I.N. Garkin, L.M. Medvedeva, M.V. Gluhova // Success of modern science and education. – 2016. – Vol. 1. – №6. – P.36–39.
2. Garkin, I.N. Organization of employment of graduates of the specialty «Technosphere safety» at the enterprises of the agricultural sector / I.N. Garkin, L.M. Medvedeva, O.M. Nazarova // Success of modern science and education. – 2016. – Vol. 1. – №6. – P.87–90.
3. Danilov, A.M. Bachelor competence: competence, interdisciplinary / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2. – P.192–199.
4. Danilov, A.M. University as a system / A.M. Danilov, I.A. Garkina, A.A. Kiselev // Regional architecture and engineering. – 2015. – №3. – P.138–143.
5. Garkin, I.N. Experience of project «RusWorks» implementation of the employment of students / I.N. Garkin, N.V. Agafonkina, L.M. Medvedeva // Education and science in the modern world. Innovation. – 2016. – №3. – P.146–150.
6. Garkin, I.N. The implementation of socio-educational projects «StroyKadry» and «Young researchers» as a form of career guidance / I.N., Garkin I.A. Garkina // Modern problems of science and education. – 2014. – № 1. – URL: <http://www.science-education.ru/115-12056>