

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель

Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:

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

Адрес редакции:

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

Редакторы: М.А. Сухова
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

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

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

Подписной индекс:
36946 в каталоге Роспечати

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

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

Подписано к печати 05.03.2018.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 24,125. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 323.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО**
1(34)/2018

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ..... 5

**Ерофеев В.Т., Тараканов О.В., Ерофеева И.В.,
Корогаев С.А., Емельянов Д.В., Балатханова Э.М.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ
КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ
ПОРОШКАМИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД..... 5

**Селяев В.П., Селяев П.В., Алимов М.Ф.,
Колотушкин А.В., Кечуткина Е.Л.**
ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И
ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ХИМИЧЕСКОЕ
СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ
КОМПОЗИТОВ ВОДНЫМ РАСТВОРАМ,
СОДЕРЖАЩИМ ИОНЫ ХЛОРА 14

**Селяев В.П., Селяев П.В., Колотушкин А.В.,
Кечуткина Е.Л.**
ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ХИМИЧЕСКОЕ
СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ
КОМПОЗИТОВ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ,
СОДЕРЖАЩИМ СУЛЬФАТ-ИОНЫ 23

Логанина В.И., Мажитов Е.Б.
РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРАСОК
НА ОСНОВЕ ПОЛИСИЛИКАТНЫХ РАСТВОРОВ .. 32

Логанина В.И., Куимова Е.И., Учаева Т.В.
НОРМАТИВНАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ КАЧЕСТВА
СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ 37

Данилов А.М., Гарькина И.А.
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ
С СИСТЕМНЫХ ПОЗИЦИЙ..... 42

Белякова Е.А., Москвин Р.Н., Юрова В.С.
САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ:
ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ, ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОИЗВОДСТВА..... 48

Гаврилов М.А., Ерофеев В.Т., Худяков В.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ
ГРИБОВ-ЛИТОБИОНТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ
С ОБРАЗЦОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ В УСЛОВИЯХ
МОРСКОГО КЛИМАТА..... 55

Гаврилов М.А., Ерофеев В.Т., Мирский В.А.
ДЕМПФИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРО-
ВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ 59

Данилов А.М., Гарькина И.А.
КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ
СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ... 63

© Авторы публикаций, 2018
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2018
© ПГУАС, 2018

Низина Т.А., Коровкин Д.И., Макарова Л.В., Балыков А.С., Володин В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЗДОБАВОЧНОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА.....	ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ.....	129
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	Гришин Б.М., Бикунова М.В., Шенин А.И., Титов Е.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД КАТИОННЫМИ ФЛОКУЛЯНТАМИ	129
Селяев В.П., Магдеев У.Х., Низина Т.А., Низин Д.Р., Ерофеева А.А. КРИТЕРИИ РАЗРУШЕНИЯ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СЛОИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОЛИМЕРНЫМИ ЗАЩИТНО- ДЕКОРАТИВНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	Кошев А.Н., Логанина В.И., Демьянова В.С., Фролов М.В. ЗАКОНОМЕРНОСТИ МАССОПЕРЕНОСА В ОТДЕЛОЧНОМ СЛОЕ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ В ПРОЦЕССЕ УВЛАЖНЕНИЯ.....	136
Гучкин И.С., Ласьков Н.Н. ИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЛИТ МАРОК ПН 12.15.1 И ПН 39.15.1 В НАРУЖНЫХ СТЕНАХ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА	Усачев А.П., Шурайц А.Л., Салин Д.В., Усуев З.М. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ	141
Лаврова О.В. ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОРОТКИХ БАЛОК НА ОСНОВЕ КАРКАСНО-СТЕРЖНЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ..	Андреев С.Ю., Яхкин М.И., Гарькина И.А. ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБЧАТОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА, РАБОТАЮЩЕГО В ЛАМИНАРНОМ РЕЖИМЕ	148
Береговой А.М., Береговой В.А., Гречишкин А.В., Воскресенский А.В. ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА	Ерёмкин А.И., Аверкин А.Г., Баканова С.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОН- ДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ПО ТИПУ ВЫТЭСНЯЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ.	157
Дерина М.А. НАВЕСНОЙ ФАСАД С ВЕНТИЛИРУЕМЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ	Кучеренко М.Н., Чиркова Е.В., Бикунова М.В., Грейсух Г.И., Салмин В.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО И ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА ВЛАЖНОСТИ.....	162
Зернов В.В., Зайцев М.Б., Анурьева Ю.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ СТЕРЖНЕЙ МЕТАЛЛИЧЕ- СКИХ ФЕРМ ИЗ УСЛОВИЯ РАВНОУСТОЙЧИВОСТИ	АРХИТЕКТУРА.....	168
Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. ВЫНОСЛИВОСТЬ СВАРНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК.....	Петрянина Л.Н. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЖИЛОГО РАЙОНА С УЧЕТОМ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	168
Кочеткова М.В. РАСЧЁТ ПРОЧНОСТИ РОСТВЕРКА ПОД КОЛОННУ ПО КАРКАСНО- СТЕРЖНЕВЫМ МОДЕЛЯМ.....	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	174
Хаметов Т.И. ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	Васин Л.А. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА	174
	Васин Л.А. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ.....	180
	Учаева Т.В., Духанина Е.В., Иванова Д.С. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РИСК- МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА	190

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	74
Erofeev V.T., Tarakanov O.V., Erofeeva I.V., Korotaev S.A., Emelyanov D.V., Balatkhanova E.M.		Selyaev V.P., Magdeev U.H., Nizina T.A., Nizin D.R., Erofeeva A.A.	
INVESTIGATION OF STRENGTH OF COMPOSITES FILLED WITH POWDERS OF CARBONATE ROCKS	5	CRITERIA OF DESTRUCTION AND STRESSED-DEFORMED STATE OF LAYERED ELEMENTS WITH POLYMERIC PROTECTIVE-DECORATIVE COATINGS ..	74
Selyaev V.P., Selyaev P.V., Alimov M.F., Kolotushkin A.V., Kechytkina E.L.		Guchkin I.S., Laskov N.N.	
INFLUENCE OF FILLERS AND PLASTICIZERS ON CHEMICAL RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES, AQUEOUS SOLUTIONS CONTAINING CHLORIDE IONS	14	FROM THE EXPERIENCE OF USING PRESTRESSED SLABS OF BRAND PN 12.15.1 AND PN 39.15.1 IN EXTERNAL WALL PANELS IN A MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING	85
Selyaev V.P., Selyaev P.V., Kolotushkin A.V., Kechytkina E.L.		Lavrova O.V.	
INFLUENCE OF FILLERS ON THE CHEMICAL RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES BY AQUEOUS SOLUTIONS CONTAINING SULFATE IONS	23	STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ON THE BASIS OF FRAME-ROD MODELS	91
Loganina V.I., Mazhitov E.B.		Beregovoy A.M., Beregovoy V.A., Grechishkin A.V., Voskresenskiy A.V.	
RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PAINTS ON THE BASIS OF POLYSYLCATE SOLUTIONS	32	THE ENCLOSURE STRUCTURES WITH ADJUSTABLE PARAMETERS OF HEAT AND MASS TRANSFER	97
Loganina V.I., Kuimova E.I., Uchaeva T.V.		Derina M.A.	
STANDARD SECURITY OF DRY BUILDING MIXTURES QUALITY	37	HINGED FACADE WITH A VENTILATED AIR GAP AS A MEANS OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE BUILDING	102
Danilov A.M., Garkina I.A.		Zernov V.V., Zaytsev M.B., Anurieva J.V.	
DURABILITY OF MATERIALS FROM SYSTEM POSITIONS	42	DEFINITION OF RATIONAL RIGIDITY OF RODS OF STEEL TRUSSES FROM THE CONDITION OF EQUAL STABILITY ...	106
Moskvin R.N., Belyakova E.A., Yurova V.S.		Kuzmishkin A.A., Garkin I.N.	
SELF-COMPACTING CONCRETE: OPTIMIZATION OF PROPERTIES, PRODUCTION TECHNOLOGY	48	SPECIFIC STABILITY LIMIT OF WELDED COATING BEAMS	111
Gavrilov M.A., Erofeev V.T., Hudjakov V.A.		Kochetkova M.V.	
RESEARCH OF LITHOBIONTIC FUNGAL VARIETY IN MODIFIED EPOXY RESIN SAMPLES IN SEA CLIMATE	55	CALCULATION OF STRENGTH GRILLAGE UNDER A COLUMN USING FRAME-CORE MODELS	116
Gavrilov M.A., Erofeev V.T., Mirsky V.A.		Khametov T.I.	
DAMPING PROPERTIES OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES	59	MEASUREMENT OF GEOMETRIC PARAMETERS OF CRANE TRACKS BY GEODETIC METHODS	122
Danilov A.M., Garkina I.A.		ENGINEERING SYSTEMS	129
KINETIC PROCESSES OF FORMATION THE MATERIALS PROPERTIES, IDENTIFICATION	63	Grishin B.M., Bikunova M.V., Shein A.I., Titov E.A.	
Nizina T.A., Korovkin D.I., Makarova L.V., Balykov A.S., Volodin V.V.		EVALUATION OF DOMESTIC WASTE WATER CLEANING EFFICIENCY WITH APPLICATION OF CATIONIC FLOCCULANTS	129
STUDYING THE INFLUENCE OF TEMPERATURE-HUMIDITY MODE ON PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CLEAR FINE-GRAINED CONCRETE	68		

Koshev A.N., Loganina V.I., Dem'yanova V.S., Frolov M.V. REGULARITIES OF MASS TRANSFER IN THE FINISHING LAYER ON THE BASIS OF A HEAT-INSULATING DRY CONSTRUCTION MIXTURE IN THE PROCESS OF MOISTENING	136	ARCHITECTURE.....	168
Usachev A.P., Shuraitis A.L., Salin D.V., Usuev Z.M. BASIC PRINCIPLES OF ASSEMBLY AND OPERATION OF GAS CYLINDRICAL FILTERING DEVICES OF HIGH CAPACITY	141	Petryanina L.N. FUNCTIONAL ORGANIZATION OF RESIDENTIAL AREA WITH NATURAL ENVIRONMENT	168
Andreev S.Yu., Yakhkind M.I., Garkina I.A. ASSESSMENT OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF TUBULAR MIXING DEVICE WORKING IN LAMINAR MODE.....	148	ECONOMICS AND MANAGEMENT..	174
Eremkin A.I., Averkin A.G., Bakanova S.V. EVALUATION OF EFFICIENCY OF THE LOCAL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL AIR CONDITIONING BY THE TYPE OF EXHAUST VENTILATION.....	157	Vasin L.A. ARCHITECTURE OF THE WIRELESS ACCESS SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE BUILDING UNIVERSITY	174
Kucherenko M.N., Chirkova E.V., Bikunova M.V., Greysukh G.I., Salmin V.V. DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF EXTERNAL AND INTERNAL AIR BASED ON HUMIDITY POTENTIAL THEORY	162	Vasin L.A. APPROACH TO ORGANIZING ELECTRONIC DOCUMENT REFERENCE IN PREPARATION OF BUILDING PROFILE SPECIALISTS.....	180
		Uchaeva T.V., Dukhanina E.V., Ivanova D.S. FORMATION OF A RISK MANAGEMENT SYSTEM AT ENTERPRISES OF INVESTMENT AND CONSTRUCTION COMPLEX	190

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 621.314.632.032.42

*Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева*
Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24
тел.: (8342) 47-71-56

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

Коротаев Сергей Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Здания, сооружения и
автомобильные дороги»
E-mail: korotaevc@yandex.ru

Емельянов Денис Владимирович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные материалы
и технологии»
E-mail: emelyanoffdv@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

Тараканов Олег Вячеславович,
доктор технических наук, профессор,
декан факультета управления
территориями
E-mail: zigk@pguas.ru

*Научно-исследовательский институт
строительной физики Российской академии
архитектуры и строительных наук*
Россия, 127238, г. Москва,
Локомотивный проезд, д. 21

Ерофеева Ирина Владимировна,
младший научный сотрудник
E-mail: mila55510@yandex.ru

*Грозненский государственный нефтяной
технический университет им. акад.
М.Д. Миллионщикова*
Россия, 364051, г. Грозный,
проспект им. Х.А. Исаева, д. 100

Балатханова Элита Махмудовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Прикладная механика и
инженерная графика»
E-mail: elita.74@mail.ru

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

Yerofeev Vladimir Trofymovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of
department «Building materials and
technology»
E-mail: al_rodin@mail.ru

Korotaev Sergey Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Buildings, Structures and
Highways»
E-mail: korotaevc@yandex.ru

Yemelyanov Denis Vladimirovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Building Materials and
Technologies»
E-mail: emelyanoffdv@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

Tarakanov Oleg Vyacheslavovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Dean of the faculty of territorial
administration
E-mail: zigk@pguas.ru

*Research Institute of Building Physics of the
Russian Academy of Architecture and
Building Sciences*
Russia, 127238, Moscow,
21, Locomotive travel

Erofeeva Irina Vladimirovna,
Associate researcher
E-mail: mila55510@yandex.ru

*Grozny State Petroleum Technical University
named after Academician M.D.
Millionshchikova*
Russia, 364051, Grozny,
100, Prospectus of Kh.A. Isaeva

Balatkhanova Elita Mahmudovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Applied Mechanics and
Engineering Graphics»
E-mail: elita.74@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ ПОРОШКАМИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

В.Т. Ерофеев, О.В. Тараканов, И.В. Ерофеева,
С.А. Коротаев, Д.В. Емельянов, Э.М. Балатханова

Представлены результаты исследования влияния зернового состава карбонатно-кварцевых наполнителей на прочность цементных композитов. Зерновой состав наполнителя изменялся путём смешивания в заданных соотношениях трех фракций узкого зернового состава. Исследования проводились с использованием симплексо-решетчатого плана эксперимента для системы трех фракций наполнителя. Полученные результаты показали, что прочность при сжатии цементных композитов с оптимальным составом карбонатно-кварцевого наполнителя может быть увеличена в 1,5 раза по сравнению с составом на основе только кварцевого наполнителя.

Ключевые слова: карбонатный наполнитель, зерновой состав, цементный композит, прочность при сжатии

INVESTIGATION OF STRENGTH OF COMPOSITES FILLED WITH POWDERS OF CARBONATE ROCKS

V.T. Erofeev, O.V. Tarakanov, I.V. Erofeeva,
S.A. Korotaev, D.V. Emelyanov, E.M. Balatkhanova

The results of researching the effect of grain composition of carbonate-quartz fillers on the strength of cement composites are presented in the article. The grain composition of the fillers was changed by mixing three fractions of a narrow grain composition in determined ratios. The studies were carried out using simplex slatted plan of the experiment for three fractions of a filler. The obtained research results showed that the compressive strength of cement composites with the optimum composition of carbonate-quartz filler can be increased by 1.5 times in comparison with the composition with quartz filler only.

Keywords: carbonate filler, grain composition, cement composite, compressive strength

Введение

Эффективность наполнения композиционных материалов достигается при объединении в структуре композита наполнителей различной природы и крупности [1–3]. Карбонатный наполнитель вступает в реакцию путем непосредственного растворения поверхности минералов цемента. Гидратационные новообразования срастаются с поверхностью карбонатных наполнителей, образуя прочные связи, обусловленные эпитаксиальным срастанием родственных поверхностей. На процессы гидратации влияют природа и состав материалов, обладающих явными или скрытыми гидравлическими свойствами. В ряде исследований установлено, что контактный слой цементного камня, прилегающий к поверхности карбонатного наполнителя, отличается повышенной степенью закристаллизованности и жесткости, по сравнению с аналогичным слоем на поверхности кварца. Это приводит к существенному улучшению свойств бетонов с карбонатным наполнителем по сравнению с бетонами на кварцевом наполнителе [10, 11, 13]. Таким образом, анализ отечественных и зарубежных работ в области создания цементных композиционных материалов с улучшенными свойствами позволяет предположить, что предпочтительными являются составы композитов, в которых в качестве мелких составляющих используются известняковые наполнители, а более крупных – кварцевые пески [4–11].

1. Постановка задачи исследований и выбор методов для их проведения

С целью оптимизации составов с карбонатно-кварцевыми наполнителями использовались следующие наполнители: кварцевый песок, доломит горный, известняк речной, известняк органогенный. Химический состав наполнителей приведен в табл. 1 [12].

Т а б л и ц а 1

Химический состав наполнителей

Наполнитель	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻	W
Песок	4,55	69,35	13,01	3,42	3,88	2,41	0,06	2,05	1,64	–	0,75
Доломит горный	46,83	–	0,02	0,06	37,17	20,14	0,04	–	0,18	0,049	0,40
Известняк речной	43,77	0,29	0,09	0,09	51,50	4,52	0,18	–	0,04	0,007	0,65
Известняк органогенный	45,98	0,11	0,03	0,03	53,10	0,29	0,21	–	0,22	–	–

В качестве вяжущего использовался портландцемент 500-Д0 производства ГУП «Чеченцемент» (н.п. Чири-Юрт), химический состав которого приведен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Химический состав портландцемента 500-Д0 производства ГУП «Чеченцемент»

Химический состав, %											
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻	CaO	W	n.n.n.
64,67	20,85	4,52	4,02	1,81	1,39	0,70	0,16	0,003	0,10	0,45	2,06

Каждый исследуемый состав включал портландцемент, воду и микронаполнители различных сочетаний. Исследования выполнены методом математического планирования эксперимента. При проведении научного эксперимента в качестве факторов варьирования были выбраны: X_1 – количество кварцевого порошка дисперсностью 3100–3300 см²/г; X_2 и X_3 – количество известняковых порошков различной дисперсности. Были изготовлены и испытаны образцы следующего состава: X_1 – кварцевый песок ($S_{уд} = 3\ 100\text{--}3\ 300\ \text{см}^2/\text{г}$); X_2 – известняк ($S_{уд} = 6\ 000\text{--}6\ 200\ \text{см}^2/\text{г}$); X_3 – известняк ($S_{уд} = 9\ 000\text{--}9\ 200\ \text{см}^2/\text{г}$). Было реализовано 3 матрицы планирования, в одной из которых в качестве мелкодисперсных фракций использован доломит горный, во второй – известняк речной, в третьей – известняк органогенный. В качестве исследуемых показателей рассматривались: водопотребность, прочность при изгибе и сжатии. Важным является установление изменения свойств материалов от количественного содержания и дисперсности известняковых наполнителей. Поэтому были рассчитаны относительные значения показателей карбонатно-кварцевонаполненных составов к чисто кварцевым. Матрица планирования и результаты экспериментов приведены в табл. 3.

2. Анализ полученных результатов

Математическая модель по матрице планирования описывается следующей математической зависимостью:

$$y = b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + j_{12} X_1 X_2 (X_1 - X_2) + j_{13} X_1 X_3 (X_1 - X_3) + j_{23} X_2 X_3 (X_2 - X_3) + b_{123} X_1 X_2 X_3.$$

Статистическая обработка результатов эксперимента позволила получить зависимости, характеризующие изменение относительных показателей водопотребности W_D , предела прочности при изгибе $R_{изг}$ и сжатии $R_{сж}$ наполненных цементных композитов от гранулометрического состава наполнителей. Коэффициенты уравнений регрессии по отдельным относительным показателям свойств приведены в табл. 4. По уравнениям регрессии построены графические зависимости (рис. 1 и 2).

Матрица планирования эксперимента и относительных показателей изменения свойств карбонатно-кварцевых цементных композитов

№ опыта	Индекс	Матрица планирования			Показатели композитов с доломитом горным			Показатели композитов с известняком речным			Показатели композитов с известняком органо-генным		
		X ₁	X ₂	X ₃	водопо-ребность	прочность при изгибе	прочность при сжатии	водопо-ребность	прочность при изгибе	прочность при сжатии	водопо-ребность	прочность при изгибе	прочность при сжатии
1	n ₁	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	n ₂	0	1	0	0,91	1,33	1,31	0,83	1,8	1,51	0,83	1,12	1,01
3	n ₃	0	0	1	0,95	1,19	1,32	0,83	1,61	1,43	0,90	0,78	0,76
4	n ₁₂₂	1/3	2/3	0	0,89	1,16	1,06	0,85	1,92	1,37	0,86	0,99	0,89
5	n ₁₃₃	1/3	0	2/3	0,95	0,59	0,68	0,87	1,62	1,34	0,92	0,92	0,94
6	n ₂₃₃	0	1/3	2/3	1,08	0,66	0,94	0,94	1,88	1,26	0,87	0,94	0,82
7	n ₁₁₂	2/3	1/3	0	0,86	1,28	1,43	0,74	1,59	1,39	0,90	1	0,8
8	n ₁₁₃	2/3	0	1/3	0,93	1,01	1,27	0,84	1,12	0,93	1,01	0,95	0,83
9	n ₂₃₃	0	2/3	1/3	0,83	1,56	1,45	0,8	1,33	1,18	0,88	0,98	0,96
10	n ₁₂₃	1/3	1/3	1/3	1,04	0,5	0,70	0,83	1,89	1,41	0,89	0,98	0,97

Т а б л и ц а 4

Значения коэффициентов математических моделей относительных показателей физико-механических свойств карбонатно-кварцевых композитов

Наполнитель в композите	Свойства	Значения коэффициентов									
		b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₃	j ₁₂	j ₁₃	j ₂₃	b ₁₂₃
Кварц + доломит горный	Водопо-ребность	1	0,910	0,950	-0,36	-0,157	0,112	-0,405	-0,247	-1,597	3,555
	Прочность при изгибе	1	1,33	1,19	0,247	-1,327	-0,675	1,552	3,262	5,76	-12,915
	Прочность при сжатии	1	1,31	1,32	0,405	-0,832	-0,54	3,195	4,702	3,465	-10,867
Кварц + известняк речной	Водопо-ребность	1	0,83	0,83	-0,54	-0,27	0,18	-1,125	-0,585	-0,945	0,36
	Прочность при изгибе	1	1,8	1,61	1,597	0,292	-0,45	-0,427	-2,002	-4,14	7,02
	Прочность при сжатии	1	1,51	1,43	0,562	-0,36	-1,125	1,282	-1,8	-0,72	5,378
Кварц + известняк органо-генный	Водопо-ребность	1	0,83	0,9	-0,157	0,067	0,045	-0,112	0,382	0,225	-0,405
	Прочность при изгибе	1	1,12	0,78	-0,292	0,202	0,045	0,337	-0,292	-0,495	0,495
	Прочность при сжатии	1	1,01	0,76	-0,72	0,022	0,022	-0,585	-1,282	0,382	3,285

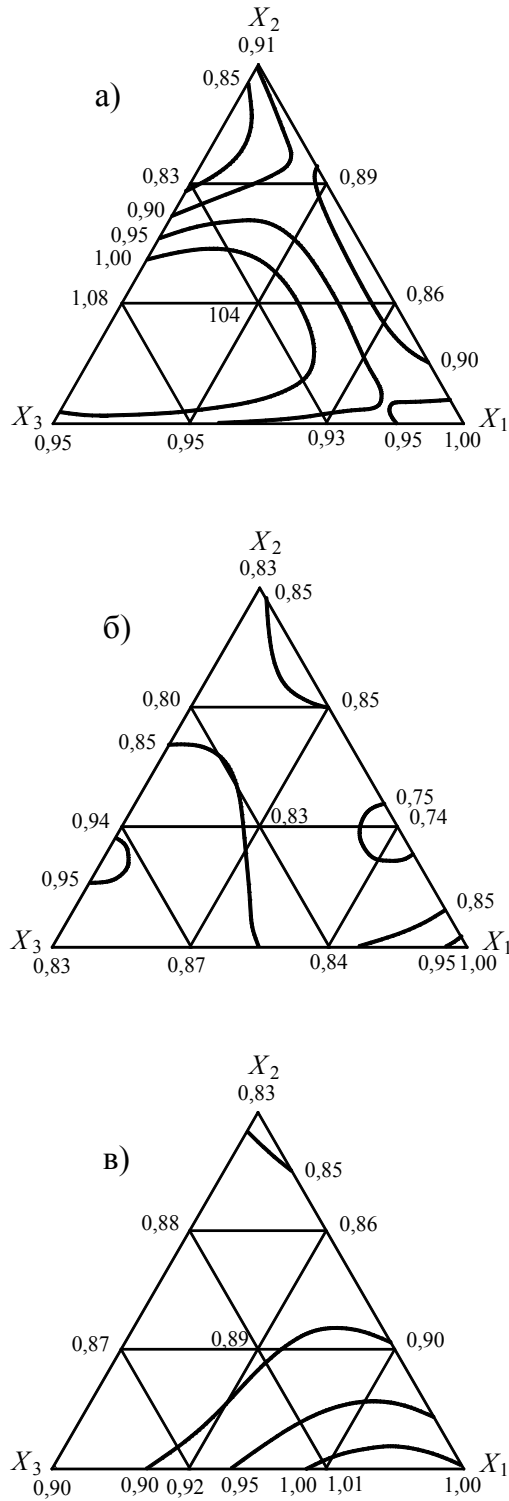
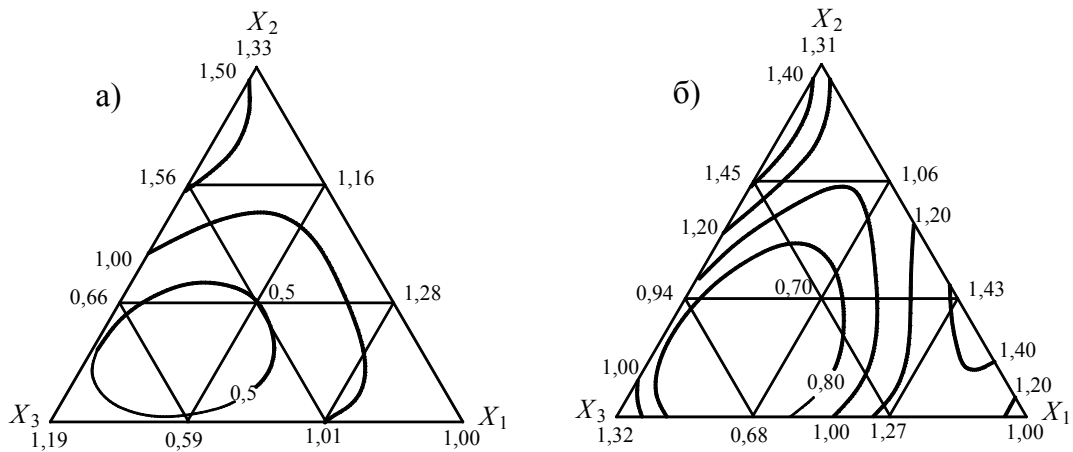
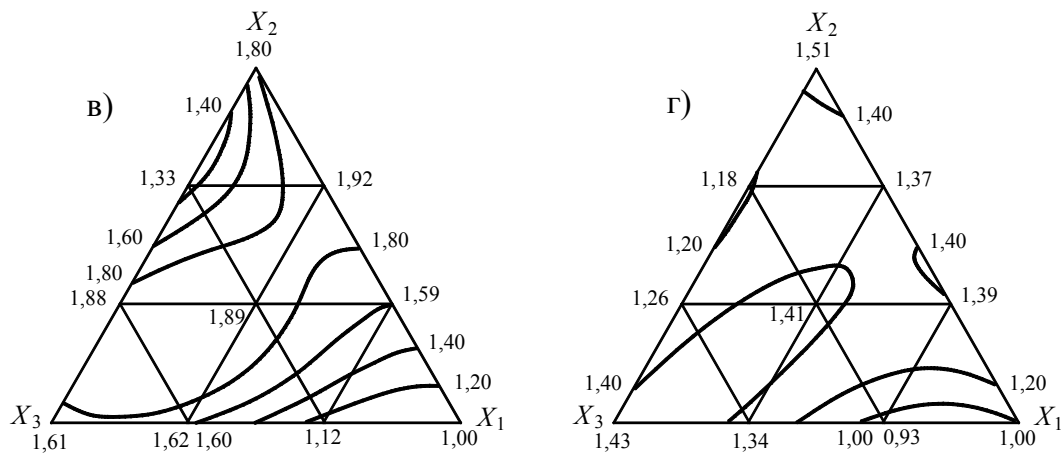


Рис. 1. Водопотребность карбонатно-кварцевых композитов в зависимости от вида карбонатного наполнителя: доломита горного (а), известняка речного (б), известняка органогенного (в)

Кварц + доломит горный



Кварц + известняк речной



Кварц + известняк органогенный

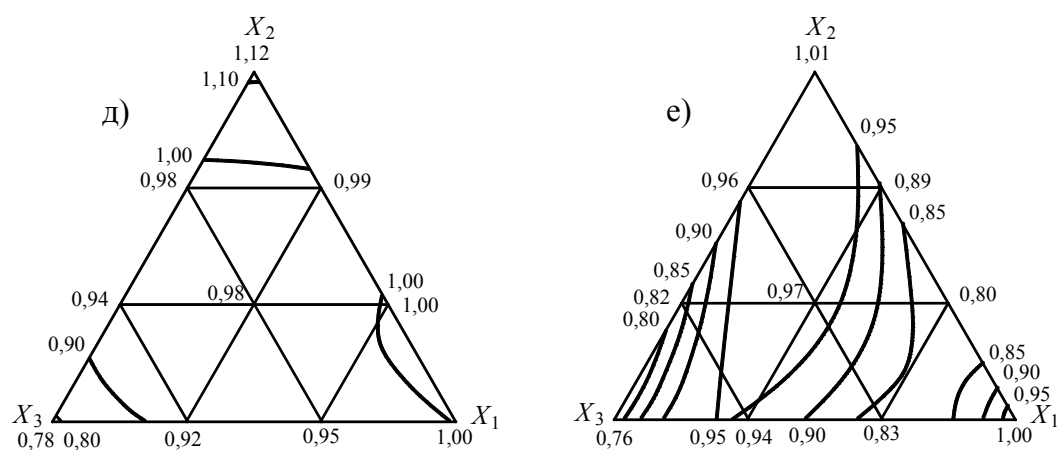


Рис. 2. Изменение относительных показателей прочности при изгибе (а, в, д) и сжатии (б, г, е) карбонатно-кварцевых композитов

Анализируя данные табл. 3 и рис. 1 и 2, отражающие зависимость водопотребности, прочности при изгибе и сжатии карбонатно-кварцевых цементных композитов от типа наполнителя, можно сделать следующие выводы.

1. Для композитов с карбонатной составляющей наполнителя из доломита горного минимальная водопотребность получена для смесей с карбонатным наполнителем при соотношении компонентов X_2 и X_3 $2/3 : 1/3$ и с карбонатно-кварцевым наполнителем при соотношении компонентов X_1 и X_2 $2/3 : 1/3$. Для композитов с карбонатной составляющей наполнителя из известняка речного минимальная водопотребность получена для смеси с карбонатно-кварцевым наполнителем при соотношении компонентов X_1 и X_2 $2/3 : 1/3$. Для композитов с карбонатной составляющей наполнителя из известняка органогенного минимальная водопотребность получена при использовании в качестве наполнителя только компонента X_2 .

2. Для композитов с карбонатной составляющей наполнителя из доломита горного максимальные значения прочности при изгибе и сжатии получены при использовании карбонатного наполнителя с соотношением компонентов X_2 и X_3 $2/3 : 1/3$; полученные максимальные значения прочности при изгибе и сжатии превышают те же показатели образцов с наполнителем из кварцевого песка, соответственно, на 56 и 45 %; максимальная прочность при сжатии образцов с карбонатно-кварцевым наполнителем, превышающая прочность образцов только с кварцевым наполнителем на 43 %, получена для состава наполнителя из смеси компонентов X_1 (кварцевый песок) и X_2 (доломит горный) при их соотношении, соответственно, $2/3 : 1/3$. Для композитов с карбонатной составляющей наполнителя из известняка речного максимальное значение прочности при сжатии получено при использовании карбонатного наполнителя с дисперсностью $6\ 000\text{--}6\ 200\ \text{см}^2/\text{г}$ (компонент X_2); полученное максимальное значение прочности при сжатии превышает тот же показатель у образцов с наполнителем из кварцевого песка на 51 %; максимальное значение прочности при изгибе образцов с карбонатно-кварцевым наполнителем, превышающее прочность при изгибе образцов только с кварцевым наполнителем на 92 %, получено для состава наполнителя из смеси компонентов X_1 (кварцевый песок) и X_2 (известняк речной) при их соотношении, соответственно, $1/3 : 2/3$. Для композитов с карбонатной составляющей наполнителя из известняка органогенного максимальное значение прочности при изгибе получено при использовании только карбонатного наполнителя с дисперсностью $6\ 000\text{--}6\ 200\ \text{см}^2/\text{г}$ (компонент X_2); полученное максимальное значение прочности при изгибе превышает тот же показатель образцов с наполнителем только из кварцевого песка на 12 %; использование карбонатной составляющей наполнителя из известняка органогенного не привело к существенному увеличению прочности при сжатии образцов по сравнению с образцами с наполнителем только из кварцевого песка.

Заключение

Таким образом, в интервале варьирования дисперсности карбонатного наполнителя $6\ 000\text{--}9\ 200\ \text{см}^2/\text{г}$ (удельная поверхность) и кварцевого наполнителя $3100\text{--}3300\ \text{см}^2/\text{г}$ оптимальное количество добавки наполнителя из доломита горного или известняка речного к кварцевому наполнителю позволяет снизить водопотребность смеси и повысить прочностные показатели цементных композитов по сравнению с показателями образцов только с кварцевым наполнителем. Оптимальное количество добавки наполнителя из известняка органогенного к кварцевому наполнителю позволяет снизить водопотребность смеси и не приводит к повышению прочностных показателей цементных композитов по сравнению с показателями образцов только с кварцевым наполнителем.

Список литературы

1. Калашников, В.И. Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового поколения / В.И. Калашников // Бетон и железобетон. – 2012. – № 1. – С. 82–89.
2. Бобрышев, А.Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем / А.Н. Бобрышев, В.Т. Ерофеев, В.Н. Козомазов. – СПб.: Наука, 2012. – 476 с.
3. Бобрышев, А.Н. Основы формирования структуры композиционных материалов: монография / А.Н. Бобрышев, В.Т. Ерофеев, Д.Е. Жарин. – Саранск: Изд-во Мордов ун-та, 2012. – 120 с.
4. Калашников, В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2012. – № 10. – С. 70–71.
5. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов / В.И. Калашников [и др.] // Строительные материалы. – 2014. – № 5. – С. 88–91.
6. Калашников, В.И. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения / В.И. Калашников, В.Т. Ерофеев, О.В. Тараканов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 4 (688). – С. 30–37.
7. Калашников, В.И. Высокопрочные бетоны нового поколения / В.И. Калашников, И.В. Ерофеева // Science without borders – 2016. – Vol. 20. – P. 82–85.
8. Erofeeva, I. Explore the possibility of replacing foreign the hyperplasticizing additives combining them with cheaper domestic the hyperplasticizing additives / I. Erofeeva, A. Petukhov, V. Kalashnikov // Building and architecture. – 2014. – P.57–62.
9. Калашников, В.И. Высокопрочные бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.И. Калашников, В.М. Володин, И.В. Ерофеева // Vedecku pokrok na prelomu tysyachalety. – 2015. – P.65–67.
10. Калашников, В.И. Изучение реологической активности известняковой муки для получения эффективных бетонов / В.И. Калашников, О.В. Тараканов, И.В. Ерофеева // Найновите постижения на европейската наука. – 2015. – Т. 13. – С.88–90.
11. Роль дисперсности и качества кварцевого песка на реологию и прочностные свойства суспензионного бетона / С.В. Ананьев, С.В. Аксенов, И.В. Ерофеева, В.И. Калашников // Nauka i inovacija. – 2014. – Vol. 10. – P.40–44.
12. Балатханова, Э.М. Разработка цементных композитов повышенной биостойкости с применением сырьевых компонентов Чеченской республики: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Э.М. Балатханова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 28 с.
13. Исследование физико-химической совместимости отходов камнепиления с цементно-водной суспензией / М.М. Батдалов, К.А. Гасанов, Б.И. Ихласова, В.Х. Хадисов // Вестник отделения строительных наук РААСН. – М., 2004. – Вып. 8. – С. 91–96.

References

1. Kalashnikov, V.I. How to turn old-fashioned concrete into highly efficient concrete of a new generation / V.I. Kalashnikov // Concrete and reinforced concrete. – 2012. – № 1. – P. 82–89.
2. Bobryshev, A.N. Physics and Synergetics of Disperse-Disordered Condensed Composite Systems / A.N. Bobryshev, V.T. Erofeev, V.N. Kozomazov. – St. Petersburg: Science, 2012. – 476 p.
3. Bobryshev, A.N. Fundamentals of formation of the structure of composite materials: monograph / A.N. Bobryshev, V.T. Erofeev, D.E. Zharin. – Saransk: Mordov University, 2012. 120 p.
4. Kalashnikov, V.I. What is the powder-activated concrete of a new generation / V.I. Kalashnikov // Building materials. – 2012. – № 10. – P. 70–71.
5. Nanogidrosilicate technologies in production concrete / V.I. Kalashnikov [etc.] // Building materials. – 2014. – № 5. – P. 88–91.

6. Kalashnikov, V.I. Suspension-filled concrete mixtures for powder-activated concrete of a new generation / V.I. Kalashnikov, V.T. Erofeev, O.V. Tarakanov // *Izvestiya vysshikh obrazovaniyakh. Building.* – 2016. – No. 4 (688). – P. 30–37.
7. Kalashnikov, V.I. High-strength concrete of the new generation / V.I. Kalashnikov, I.V. Erofeeva // *Science without borders.* – 2016. – Vol. 20. – P.82–85.
8. Erofeeva, I. Explore the possibility of replacing foreign the hyperplasticizing additives combining them with cheaper domestic the hyperplasticizing additives / I. Erofeeva, A. Petukhov, V. Kalashnikov // *Building and architecture.* – 2014. – P.57–62.
9. Kalashnikov, V.I. High-strength concretes of new generation with low specific consumption of cement per unit strength / V.I. Kalashnikov, V.M. Volodin, I.V. Erofeeva // *Vedecky pokrok na prelomu tysyachalety.* – 2015.– P. 65–67.
10. Kalashnikov, V.I. Study of the rheological activity of limestone flour for obtaining effective concretes / V.I. Kalashnikov, O.V. Tarakanov, I.V. Erofeeva // *Nainovite comprehension on the European school science.* – 2015. – Vol. 13. – P.88–90.
11. The role of the dispersion and quality of quartz sand on the rheology and strength properties of slurry concrete / S.V., Ananiev S.V. Aksenov, I.V. Erofeeva, V.I. Kalashnikov // *Nauka i inovacija.* – 2014. – Vol. 10. – P.40–44.
12. Balatkhanova, E.M. Development of cement composites of high biostability using raw materials of the Chechen Republic: author's abstract. dis. ... cand. tech. sciences / E.M. Balatkhanova. – Penza: PGUAS, 2015. – 28 p.
13. Investigation of the physico-chemical compatibility of stone-wasting waste with cement-water suspension / M.M. Batdalov, K.A. Hasanov, B.I. Ihlasova, V.Kh. Khadisov // *Vestnik of the Department of Building Sciences, RAASN.* – M., 2004. – Rel. 8. – P. 91–96.

УДК 691.32

Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева

Россия, 430006, г. Саранск,
ул. Большевикская, д. 68,
тел.: (8342)47-71-56; факс: (8342)47-71-56

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

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

Алимов Марат Фатихович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

Колотушкин Алексей Владимирович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

Кечуткина Евгения Львовна,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

Ogarev Mordovia State University

Russia, 430006, Saransk, 68,
Bolshevistskaya St.,
tel.: +7(8342)47-71-56; fax: +7(8342)47-71-56

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

Selyaev Pavel Vladimirovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
E-mail: ntorm80@mail.ru

Alimov Marat Fatihovich,
Postgraduate of the department «Building
designs»

Kolotushkin Aleksey Vladimirovich,
Postgraduate of the department «Building
designs»

Kechutkina Evgeniy L'vovna,
Postgraduate of the department «Building
designs»

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ВОДНЫМ РАСТВОРАМ, СОДЕРЖАЩИМ ИОНЫ ХЛОРА

В.П. Селяев, П.В. Селяев, М.Ф. Алимов, А.В. Колотушкин, Е.Л. Кечуткина

Изучено влияние наполнителей и пластификаторов на химическое сопротивление цементных композитов водным растворам, содержащим ионы хлора; математически описываются процессы и определяются основные параметры химического сопротивления композитов. Проведенные исследования показали, что под действием растворов, содержащих ионы хлора, в цементном композите происходит разрушение гидросиликата и гидроксида кальция с образованием геля кремниевой кислоты и хлорида кальция. Выявлено развитие двух процессов: выщелачивания и кольматации.

Показатели химического сопротивления, определенные экспериментально, дают возможность формировать на основе метода предельных состояний расчетные модели для оценки долговечности железобетонных изделий, работающих в водных растворах, содержащих ионы хлора.

Ключевые слова: пластификатор, агрессивная среда, цементный композит, ионы хлора

INFLUENCE OF FILLERS AND PLASTICIZERS ON CHEMICAL RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES, AQUEOUS SOLUTIONS CONTAINING CHLORIDE IONS

V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, M. F. Alimov, A.V. Kolotushkin, E.L. Kechytkina

The effect of fillers and plasticizers on chemical resistance of cement composites aqueous solutions containing chloride ions; has been studied the processes and identifies the main parameters of the chemical resistance of the composites are mathematically described. They study has shown that under the action of solutions containing chloride ions the destruction of the silicate hydrate and calcium hydroxide with formation of silicic acid gel and calcium chloride takes place in cement composite. Revealed the development of two processes: leaching and clogging.

The values of chemical resistance, determined experimentally help to create analysis models based on the method of limit state for assessing the durability of concrete products, operating in aqueous solutions and containing chloride ions.

Keywords: plasticizer, aggressive environment, cement composite, chloride ions

Наиболее агрессивными составляющими среды по отношению к железобетону являются сульфат- и хлорид-ионы. Содержание в бетоне хлорид-ионов больше критического уровня (0,2-0,6 % от массы цемента) вызывает коррозию арматурной стали и бетона.

Коррозия бетона под действием хлорид-ионов рассматривалась в работах Ф.М. Иванова, С.Н. Алексеева, Е.А. Гузеева, В.М. Москвина, С.Н.Леоновича, В.П. Селяева, Л.И. Куприяшкиной, А.А. Седовой [1–11].

В состав цементных композитов ионы хлора могут попадать вместе с компонентами, формирующими структуру композита: наполнителями; минерализованной водой затворения; добавками-ускорителями твердения, – из растворов соли, применяемой для удаления льда с поверхности бетона. Проникая в структуру цементного композита, они вступают в химическое взаимодействие: с трехкальциевым алюминатом, образуя хлоралюминат кальция; с трехкальциевым силикатом, образуя гидроксид кремния, который является кольматантом и замедляет процесс переноса агрессивной среды в объем изделия.

Химическое сопротивление цементных композитов действию водных растворов хлорид-ионов лимитируется проницаемостью, скоростью диффузии, с которой ионы хлора с поверхности композита проникают в структуру материала. Установлено, что скорость переноса ионов хлора зависит от строения структуры композита, объема и распределения пор по размерам.

Известно, что пористость композитов можно регулировать с помощью изменения водоцементного отношения, введения пластифицирующих добавок и минеральных наполнителей.

Целью данной работы является: изучение влияния наполнителей и пластификаторов на химическое сопротивление цементных композитов водным растворам, содержащим ионы хлора; математическое описание этих процессов и определение основных параметров химического сопротивления композитов.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы-призмы размером 20×20×70 из цементных композитов на мальцовском и мордовском цементах, содержащих суперпластификаторы (Пластанол-7 и Хидетал), наполнители – микрокремнезем МКУ-85 и цеолитсодержащую породу (ЦСП). Составы композитов приведены в табл. 1.

Составы цементных композитов

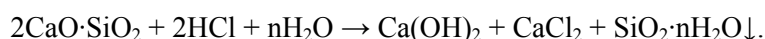
№ состава	Вид цемента	В/Ц	Наполнитель		Суперпластификатор	
			Вид	Кол-во от массы цемента, %	Вид	Кол-во от массы цемента, %
1	ПЦ-М500-ДО ОАО «Мальцовский цементный завод»	0,3	МКУ-85	15	Пластанол-7	0,9
2	ПЦ-М500-ДО ОАО «Мальцовский цементный завод»	0,27	МКУ-85	15	Хидетал-ГП-9-γ	0,5
3	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,32	МКУ-85	10	Пластанол-7	0,9
4	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,32	МКУ-85	15	Хидетал-ГП-9-γ	0,5
5	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,4	ЦСП	10	-	-
6	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,4	ЦСП	20	-	-
7	ПЦ-М400 ДО ОАО «Мордовцемент»	0,4	ЦСП	30	-	-

В качестве агрессивной среды были приняты 1 %, 2 % и 3 % водные растворы соляной кислоты и 25 % раствор NaCl. Образцы в агрессивных средах выдерживались при нормальной температуре. После 7, 14, 28, 180 суток экспонирования в растворах образцы вынимали из агрессивной среды, подсушивали на воздухе и фиксировали следующие изменения: содержание ионов кальция, кислотность в фильтрате, масса образцов, глубина проникания среды и зона разрушения структуры, предел прочности при сжатии, предельные деформации. По экспериментальным данным определились: механизм химического и физического разрушения композита; показатели химического сопротивления цементного камня агрессивным средам; предельная сорбционная емкость (ω_0); коэффициент эффективной проводимости (D_m); коэффициент химического сопротивления (k_{xc}).

Кислотность растворов контролировалась с помощью pH-метра «Эксперт PH».

Фильтрат анализировали на содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} комплексно-метрическим методом. Содержание ионов Fe^{3+} и Al^{3+} определяли спектрометрическим методом. Структуру осадка изучали с помощью многофункционального растрового электронного микроскопа «Quanta 200i 3DFEI», элементный состав определяли энергодисперсным рентгеновским методом.

Установлено, что при контакте бетона с водным раствором кислоты (HCl) происходит разрушение гидросиликата кальция и других гидратных фаз с образованием гидроксида кальция, растворимость которого при температуре 18-20° С равна 1,1 г/л. $Ca(OH)_2$ переносится в раствор, что приводит к повышению pH.



Хлорид кальция, образовавшийся при взаимодействии $Ca(OH)_2$ с HCl, хорошо растворяется в воде, поэтому почти полностью вымывается из пор бетона и большого влияния не оказывает на равновесие «бетон – кислота». Разрушение гидросиликата кальция приводит к образованию геля кремнекислоты $SiO_2 \cdot nH_2O$, который отличается малой растворимостью в воде (около 0,01 г/л) по сравнению с $Ca(OH)_2$. Поэтому почти весь гель кремнекислоты остается в порах бетона, вызывая их частичное закупоривание.

ривание (кольматацию). Таким образом, процесс коррозии бетона становится в определенный период времени самотормозящимся.

На рис. 1 и 2 приведены данные изменения массы образцов при экспонировании в 1 % растворе HCl и 25 % водном растворе NaCl.

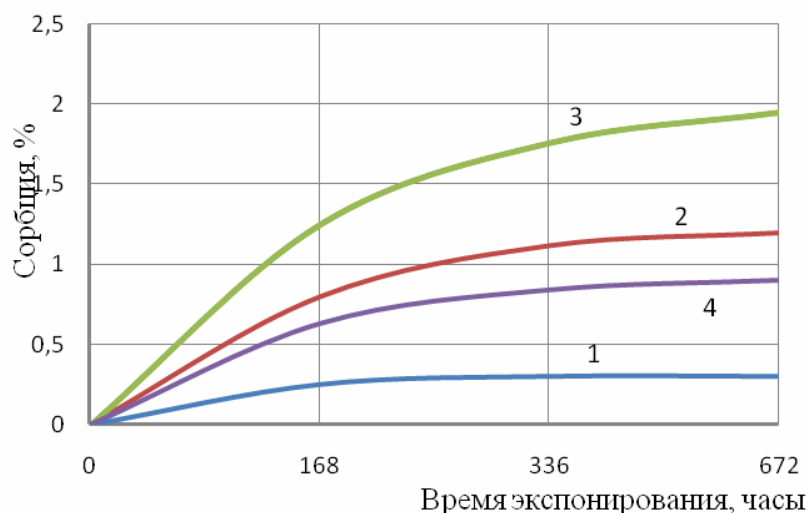


Рис. 1. Графики сорбции цементных композитов в 1 % водном растворе HCl (1, 2, 3, 4 – номера составов в табл. 1)

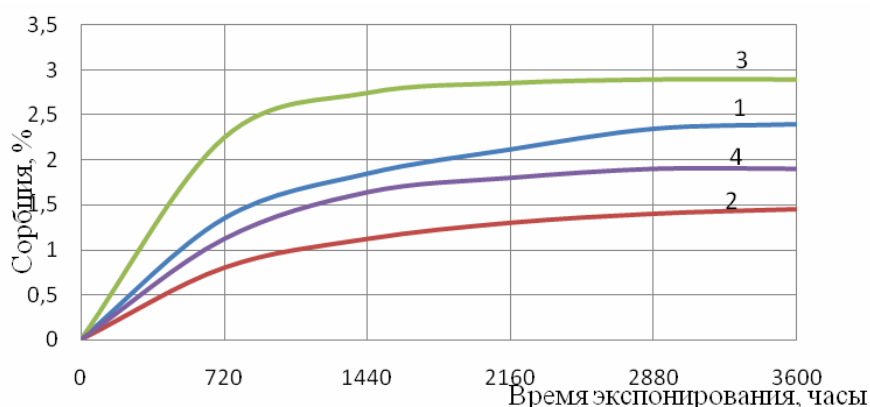


Рис. 2. Графики сорбции цементных композитов в 25 % водном растворе NaCl (1, 2, 3, 4 – номера составов в табл. 1)

На рис. 3 приведены графики роста концентрации ионов кальция в фильтрате при экспонировании образцов в водном растворе 1, 2, 3 % HCl. Установлено, что в 1 % водном растворе HCl процессы кольматации и вымывания гидроксида кальция стабилизируются на 14-е сутки (336 часов); процесс сорбции достигает предельного состояния через 28 суток, и процессы распада структурных связей и выщелачивания начинают преобладать; кинетика образования новых и разрушения начальных связей зависит от вида цемента и пластификатора.

Элементный анализ осадка, полученного при взаимодействии цементного камня с хлороводородной кислотой, показал, что он преимущественно состоит из оксидов кремния, кальция, железа.

Основываясь на результатах анализа процессов взаимодействия водных растворов соединений хлора с цементным камнем, можно утверждать, что разрушение структуры композита прежде всего лимитируется процессами переноса агрессивной среды в глубь материала и химического взаимодействия реакционноспособных компонентов.

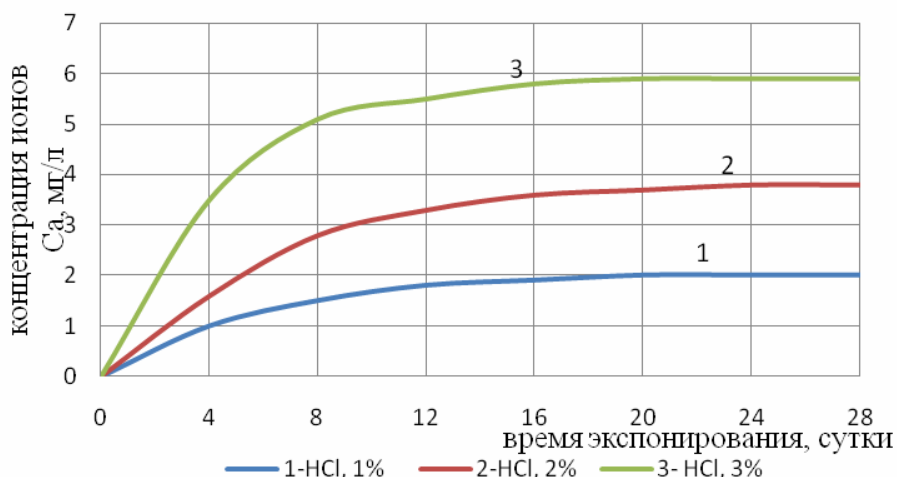


Рис. 3. Содержание ионов кальция в фильтрате после экспонирования цементных композитов в растворах HCl различной концентрации, содержащих ЦСП – 30 %

Перенос хлорид-ионов с поверхности в объем материала – явление достаточно сложное, и возможна реализация как фазового, так и диффузионного механизма. Поэтому для описания кинетики продвижения агрессивной среды в глубь изделия принято использовать феноменологическую модель обобщенной проводимости, согласно которой величина потока J прямо пропорциональна градиенту субстанции ω :

$$J = D_m \text{grad}(\omega), \tag{1}$$

где D_m – коэффициент (показатель) эффективной проводимости.

Известно, что уравнение (1) переноса субстанции – жидкости, теплоты, энергии и т.д. – можно представить дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2}. \tag{2}$$

Решения уравнения (2) известны при различных граничных условиях, и они дают возможность определять коэффициенты эффективной проводимости по формулам:

$$D'_m = \frac{a^2}{k^2(\xi)t}; F_0 < 0,1. \tag{3}$$

$$D''_m = \left[\ln \frac{8}{\pi} - \ln \frac{\omega_0 - \omega_{(t)}}{\omega_0} \right] \frac{4R^2}{\pi^2 t_0}; F_0 > 0,1, D''_m = k \frac{R^2}{t_0}, \tag{4}$$

где F_0 – критерий Фурье, $F_0 = \frac{D_m t}{R^2}$; $k(\xi)$ – коэффициент, величина которого может быть принята равной 0,1 из условия инструментальной точности определения значения a – координаты (границы) области деградации композита; ω_0 – предельная сорбционная емкость; $\omega_{(t)}$ – концентрация агрессивной среды в момент времени t ; R – характерный размер.

Метод определения коэффициента D'_m : по формуле (3) называется индикаторным (т.к. a – граница области продвижения среды определяется с применением индикаторов); по формуле (4) – сорбционным (т.к. определяется по кривым сорбции).

Предложено для описания процесса сорбции применять дробно-линейную функцию вида:

$$\omega_t = \frac{\omega_0 t}{t_0 + t}, \tag{5}$$

где t_0 – кинетическая характеристика процесса сорбции.

Функция (5) легко преобразуется в линейное уравнение вида:

$$\frac{1}{\omega_{(t)}} = \frac{1}{\omega_0} + \left(\frac{t_0}{\omega_0} \right) \frac{1}{t}. \quad (6)$$

Тогда по сорбционным кривым строятся графики в осях $\frac{1}{\omega_{(t)}} - \frac{1}{t}$, которые имеют линейный вид и дают возможность определить параметры ω_0 и t_0 .

Установив экспериментально предельную сорбционную емкость ω_0 из уравнения (4), легко определить значения D_m'' . Для этого зададимся значением $\frac{\omega_{(t)}}{\omega_0}$, равным,

например, 0,3. По кривой сорбции находим время $t_{0,3}$, соответствующее $\frac{\omega_{(t)}}{\omega_0} = 0,3$.

Подставив значения в формулу (4), получим D_m'' .

Химическое сопротивление композитов нормами рекомендовано оценивать с помощью коэффициента химического сопротивления. Кинетику разрушения связей в композитах принято описывать уравнением вида:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -k c^n \omega_0^m, \quad (7)$$

где c – относительное количество работоспособных связей в единице объема композита; n, m – порядок реакций, $n = m = 1$.

Тогда из решения уравнения (7) коэффициент химического сопротивления будет равен:

$$k_{x.c.} = \frac{c_{(t)}}{c_{(0)}} = \frac{\sigma_{(t)}}{\sigma_{(0)}} = \exp\{-k\omega_0 t\}. \quad (8)$$

Коэффициент k определяется по экспериментальным данным изменения прочности, твердости внешних (контактирующих с агрессивной средой) слоев материала изделия.

Рассмотрим возможности применения полученных зависимостей для анализа химического сопротивления цементных композитов действию водных растворов, содержащих ионы хлора.

В табл. 2 приведены результаты изменения координаты фронта деградации при экспонировании цементного композита в 1 и 3 %-м растворах соляной кислоты.

Т а б л и ц а 2

Координаты фронта деградации и значения эффективного коэффициента D_m

Среда	Состав	Время экспонирования, сут	Координата, $a \cdot 10^3$, м	$a^2 \cdot 10^6$, м ²	t , ч	$D_m \cdot 10^6$, м ² /ч
1 %, HCl	1.1	180	1,5	2,25	4320	0,05
	1.2	180	2,4	5,76	4320	0,13
	1.3	180	2,6	6,76	4320	0,16
	1.4	180	3,8	14,4	4320	0,33
3 %, HCl	2.1	180	0,4	16,0	4320	0,37
	2.2	180	3,5	12,2	4320	0,28
	2.3	180	4,7	22,1	4320	0,5
	2.4	180	4,5	20,2	4320	0,47

Коэффициент эффективной проводимости D_m определялся индикаторным методом при $k(\zeta) = 0,1$. Координата фронта (ширина деградированной зоны отличалась по цвету) измерялась штангенциркулем.

Глубину коррозии бетона в растворах, содержащих ионы хлора, определяют по следующей методике:

- готовится раствор 0,05 моль/л K_2CrO_4 и 0,1 моль/л $AgNO_3$;
- образец, выдержанный в растворе, содержащем ионы хлора, разрезается; после высыхания на поверхность среза наносится раствор хромата калия (просушить и повторить 2-3 раза);
- наносится на обработанную поверхность среза раствор нитрата серебра;
- в результате реакции происходит образование Ag_2CrO_4 красного цвета; при наличии в структуре бетона ионов хлора окрашивания не происходит.

На рис. 1, 2 показаны графики сорбции водных растворов HCl и $NaCl$, обработка которых с применением уравнения (6) показала, что экспериментальные данные хорошо ложатся на прямые линии в осях « $\frac{1}{\omega} - \frac{1}{t}$ ». Следовательно, процесс сорбции адекватно описывается функцией (5).

Прямая линия на рис. 4, 5 пересекается с осью ординат, и это дает возможность определить предельную сорбционную емкость для каждого состава.

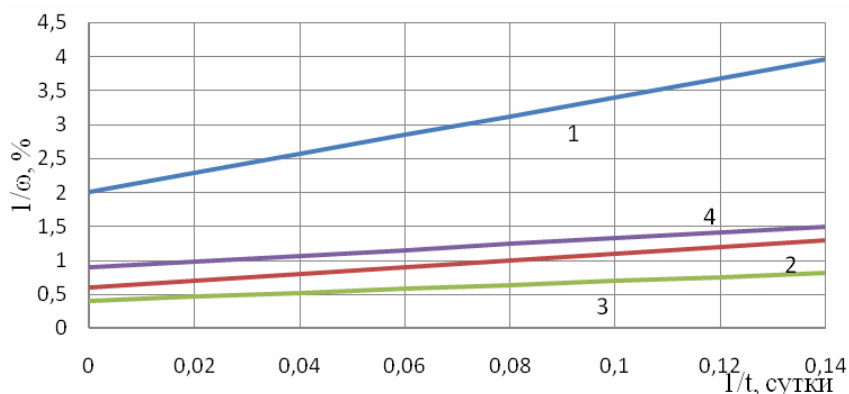


Рис. 4. Определение сорбционной емкости ω_{0i} цементных композитов в 1 % водном растворе HCl :
 1 – $\omega_{01} = 0,5$ %; 2 – $\omega_{02} = 1,5$ %; 3 – $\omega_{03} = 2,5$ %; 4 – $\omega_{04} = 1,1$ %
 (1,2,3,4 – номера составов в табл.1)

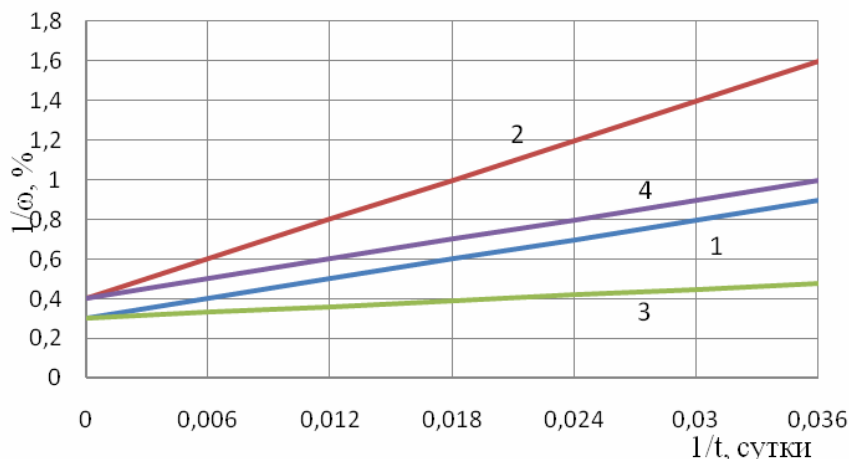


Рис. 5. Определение сорбционной емкости ω_{0i} цементных композитов в 25 % водном растворе $NaCl$:
 1 – $\omega_{01} = 3,3$ %; 2 – $\omega_{02} = 2,5$ %; 3 – $\omega_{03} = 3,3$ %; 4 – $\omega_{04} = 2,5$ %
 (1, 2, 3, 4 – номера составов в табл.1)

Анализом экспериментальных данных установлено, что в 1 % водном растворе HCl сорбционная емкость меняется от 0,5 до 2,5 % и каждому составу присуще свое значение ω_0 . Это может свидетельствовать о высокой активности химического взаимодействия композита с агрессивной средой и влиянии этого процесса на сорбционную емкость материала.

При действии водных растворов NaCl на цементный композит сорбционные емкости составов 1, 3 и 2, 4 соответственно равны 3,3 % и 2,5 %. Следовательно, составы 1, 3 и 2, 4 имеют подобные структурные параметры, т.е. можно говорить о том, что механизмы действия пластификаторов «Пластанол», «Хидетал» на процесс формирования структуры цементных композитов идентичны.

При определении коэффициента диффузии сорбционным методом параметр t_0 находим по графикам на рис. 4 и 5 исходя из соответствия между $t_0 - 0,5 \omega_0$.

По графикам изменения прочностных характеристик были установлены коэффициенты химического сопротивления. Численные показатели коэффициентов химического сопротивления приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Показатели химического сопротивления цементных композитов

№ п/п	№ состава вов	Среда	t_0 , ч	Сорбционная емкость m_0 , %	Коэффициент $D_m \cdot 10^6$, $m^2/ч$		$k_{х.с}$ (180 сут)
					Индикатор	Сорбция	
1	1	1 % HCl	672	0,5	0,05	0,06	0,76/0,8
2	2	1 % HCl	240	1,5	0,13	0,17	0,96/0,95
3	3	1 % HCl	210	2,5	0,16	0,19	0,72/0,85
4	4	1 % HCl	160	1,1	0,33	0,25	0,82/0,65
5	1	25 % NaCl	900	3,3	-	0,04	1,5/1,05
6	2	25 % NaCl	1800	2,5	-	0,02	1,25/1,2
7	3	25 % NaCl	500	3,3	-	0,08	1,05/1,1
8	4	25 % NaCl	900	2,5	-	0,04	1,4/1,2
9	1	3 % HCl	-	-	0,37	-	0,5/0,5
10	2	3 % HCl	-	-	0,28	-	0,8/0,5
11	3	3 % HCl	-	-	0,5	-	0,5/0,5
12	4	3 % HCl	-	-	0,47	-	0,6/0,4

Для $k_{х.с}$ в числителе – значение при растяжении; в знаменателе – при сжатии.

Проведенные исследования показали, что под действием растворов, содержащих ионы хлора, в цементном композите происходит разрушение гидросиликата и гидроксида кальция с образованием геля кремниевой кислоты и хлорида кальция. Поэтому одновременно развиваются два процесса – выщелачивания и кольматации. Кольматационный механизм коррозии цементного композита характерен для начального периода и приводит к временному повышению прочности, но затем начинает преобладать процесс выщелачивания. Снижение содержания в композите гидроксида кальция приводит к потере прочности и разрушению композита. Введением в состав композита микрокремнезема, пластификатора можно управлять процессом коррозии цементного камня.

Графики сорбции дают возможность: получить достаточно полную информацию о процессах (кольматации и выщелачивания), происходящих в композите при взаимодействии с агрессивной средой; установить предельную сорбционную емкость, коэффициент эффективной проводимости, коэффициент химического сопротивления, адекватно определяющие степень агрессивности среды к цементному композиту.

Показатели химического сопротивления, найденные экспериментально, дают возможность формировать на основе метода предельных состояний расчетные модели для оценки долговечности железобетонных изделий, работающих в водных растворах, содержащих ионы хлора.

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий / Ю.М. Баженов, А.Г. Комар. – М.: Стройиздат, 1986 – 672 с.

2. Шестоперов, С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений / С.В. Шестоперов. – М.: Транспорт, 1966.
3. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
4. Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001 – 152 с.
5. Армополимербетоны в транспортном строительстве / В.И. Соломатов [и др.]. – М.: Транспорт, 1979.
6. Рахимбаев, Ш.М. Кинетика процессов коагуляции при химической коррозии цементных систем / Ш.М. Рахимбаев // Бетон и железобетон. – 2012. – №6. – С.16–17.
7. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
8. Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред / под ред. В.М. Москвина, Ю.А. Савиной. – М.: Стройиздат, 1975. – 236 с.
9. Селяев, В.П. Воздействие растворов серной кислоты на разрушение наполненного цементного камня / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина // Наука: 21 век. – 2015. – № 1, 2. – С. 166–172.
10. Изучение процессов повреждения цементного камня, наполненного цеолитосодержащей породой, растворами хлористоводородной кислоты / В.П. Селяев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – №7. – С. 66–71.
11. Изучение процессов повреждения цементного камня растворами серной кислоты различной концентрации / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, А.А. Седова, А.К. Осипов // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Саранск, 2014. – С. 188–194.

References

1. Bazhenov, Yu.M. Technology of concrete and reinforced concrete products / Yu.M. Bazhenov, A.G. Komar. – М.: Stroyizdat, 1986. – 672 p.
2. Shestoperov, S.V. Durability of concrete transportation structures / S.V. Shestoperov. – М.: Transport, 1966.
3. Solomatov, V.I. Chemical resistance of composite building materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev. – М.: Stroyizdat, 1987. – 264 p.
4. Selyaev, P.V. Chemical resistance-filled cement composites / P.V. Selyaev, V.I. Solomatov, L.M. Oshkina. – Saransk: Publishing house Mordov. University, 2001. – 152 p.
5. Armopolimerconcrete in transport construction / V.I. Solomatov [etc.]. – М.: Transport, 1979.
6. Rakhimbaev, S.M. Kinetics of clogging in chemical corrosion of cement systems / S.M. Rakhimbaev // Concrete and reinforced concrete. – 2012. – N6. – P.16–17.
7. Alekseev, S.N. Corrosion durability of reinforced concrete structures in aggressive industrial environments / S.N. Alekseev, N.To. Rosenthal. – М.: Stroyizdat, 1976. – 205 p.
8. Increase durability of concrete and reinforced concrete when exposed to aggressive environments / ed. by V.M. Moskvina, Yu.A. Savina. – М.: Stroyizdat, 1975. – 236 p.
9. Selyaev, V.P. Impact of solutions of sulfuric acid on the fracture filled with cement stone / V.P. Selyaev, L.I. Kupryashkina // Science: 21. – 2015. – N 1, 2. – P. 166–172.
10. Study of the damage processes of cement stone, filled with ceritadewasa breed solutions of hydrochloric acid / V.P. Selyaev [etc.] // News of higher educational institutions. Construction. – 2014. – N7. – P. 66–71.
11. Study of the damage processes of cement stone with sulphuric acid solutions of various concentrations / V.P. Selyaev, L.I. Kupryashkina, A.A. Sedova, A. K. Osipov // Durability of building materials, products and designs: materials of all-Russian scientific-technical conference. – Saransk. 2014. – P. 188–194.

УДК 691.32

*Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева*Россия, 430006, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68,
тел.: (8342)47-71-56; факс: (8342)47-71-56**Селяев Владимир Павлович,**
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительные
конструкции», академик РААСН
E-mail: ntorm80@mail.ru**Селяев Павел Владимирович,**
кандидат технических наук, доцент
E-mail: ntorm80@mail.ru**Колотушкин Алексей Владимирович,**
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»**Кечуткина Евгения Львовна,**
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»*Ogarev Mordovia State University*Russia, 430006, Saransk, 68,
Bolshevistskaya St.,
tel.: +7(8342)47-71-56; fax: +7(8342)47-71-56**Selyaev Vladimir Pavlovich,**
Doctor of Science, Professor, Head of the
department «Building designs», Academician
of the Russian Academy of Architectural and
Construction Sciences
E-mail: ntorm80@mail.ru**Selyaev Pavel Vladimirovich,**
Candidate of Sciences, Associate Professor
E-mail: ntorm80@mail.ru**Kolotushkin Aleksey Vladimirovich,**
Postgraduate of the department «Building
designs»**Kechutkina Evgeniay L'vovna,**
Postgraduate of the department «Building
designs»

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ, СОДЕРЖАЩИМ СУЛЬФАТ-ИОНЫ

В.П. Селяев, П.В. Селяев, А.В. Колотушкин, Е.Л.Кечуткина

Установлено, что при сульфатной коррозии свойства бетона изменяются значительно и неравномерно по глубине (послойно). Однако экспериментально эти предположения не подтверждены, и нет данных о кинетике изменения в процессе сульфатной коррозии прочностных и деформативных свойств цементного камня на поверхности по объему изделия, о влиянии вида наполнителя на процесс деструкции.

Экспериментально исследовано химическое сопротивление цементных композитов, приготовленных с использованием различных наполнителей: микрокремнезема, шлака, маршалита.

Полученные результаты подтверждают возможность применения сорбционного метода для определения эффективного коэффициента проводимости (диффузии) агрессивной среды и дальнейшего расчета глубины коррозионного повреждения образцов, изделий из цементных композитов.

Ключевые слова: наполнитель, цементный композит, сульфат-ионы, коррозия, водный раствор

INFLUENCE OF FILLERS ON THE CHEMICAL RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES BY AQUEOUS SOLUTIONS CONTAINING SULFATE IONS

V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, A.V. Kolotushkin, E.L. Kechutkina

It is found at sulfate corrosion concrete properties vary significantly and irregularly with depth (layers). However, experimentally these assumptions are not confirmed and there are no data on the kinetics of changes in the process of sulfate corrosion of strength and deformation properties of cement stone on the surface of the volume of the product; about the influence of filler on the process of destruction.

There was experimentally investigated chemical resistance of cement composites prepared with different fillers: silica fume, slag, marshalite.

The obtained results confirm the possibility of using a sorption method to determine the effective coefficient of conductivity (diffusion) of aggressive environment and further calculation the depth of corrosion damage of samples, products from cement composites.

Keywords: filler, cement composite, sulfate ions, corrosion, aqueous solution

Сульфатная агрессия является наиболее распространенной, так как сульфат-ионы присутствуют практически во всех видах природных и сточных вод. Системный анализ влияния сульфатной коррозии на цементные композиты представлен в работах В.И. Бабушкина, Ю.М. Баженова, Ш.Я.Рахимбаева, С.В. Шестоперова, В.П. Селяева, В.И. Соломатова, Л.М. Ошкиной, А.И. Миноса, А. Кларка, Г.Кюль, Г. Торвальдсона, А.Е. Шейкина, В.М. Москвина, Л.И. Куприяшкиной [1–11]. Она происходит под действием сульфатов, которые содержатся в природных или загрязненных подземных водах. В воде пресных озер и рек содержание сульфат-ионов SO_4^{2-} не превышает 60 мг/л. В морской воде – 2500–2700 мг/л, при солености 33–35 г/л. В сильноминерализованных подземных водах содержание сульфат-ионов может достигать десятки тысяч мг/л. Сульфаты встречаются в промышленных, технологических водах многих отраслей.

Сульфатная коррозия ведет к образованию гипса и этtringита. Этtringит, образовавшийся в процессе сульфатизации цементного камня, занимает объем, в 2,27 раза больший объема исходных продуктов.

При концентрации в растворе сульфат-ионов более 250 мг/л процесс накопления этtringита в структуре цементного камня начинает влиять на свойства бетона.

Если концентрация сульфат-ионов в водном растворе превышает 1000 мг/л и в порах цементного камня содержится гидрат окиси кальция, то возможно образование не только кристаллов этtringита, но и двуводного гипса. С повышением концентрации ионов SO_4^{2-} увеличивается доля кристаллов гипса, которые разрывают поры и наступает разрушение бетона.

В 1999 году Кларк обнаружил новый тип сульфатной коррозии цементной композиции. При совместном действии сульфатов и карбонатов в цементном камне образуется минерал таумасит $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{CO}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_6) \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$.

Установлено: образование кристаллов таумасита происходит при наличии в системе ионов CO_3^{2-} и SO_4^{2-} и pH раствора более 10,0; цементные бетоны, содержащие карбонатные заполнители, под действием сульфатных сред при температуре ниже 10 °C наиболее интенсивно подвергаются деструкции с образованием таумасита; предполагается, что введение зол повышает химическое сопротивление цементных композиций сульфатной коррозии таумаситного типа.

Большинство исследователей считают, что разрушение цементного камня и бетона под действием сульфатов происходит за счет внутренних напряжений, возникающих в порах и капиллярах бетона при кристаллизации новообразований (Г.Кюль).

Торвальдсон Г., Бутт Ю.М., Данюшевский В.С. и Липовецкий А.А. подвергают сомнению такую точку зрения и связывают сульфатное растрескивание с вторичными процессами, обусловленными осмотическими явлениями.

Шейкин А.Е. и Олейникова Н.И. объясняют растрескивание бетона в условиях сульфатной коррозии повышенной концентрацией извести внутри замкнутых ячеек коллоидного тела.

Однако, по мнению В.М. Москвина, более концентрированные растворы находятся не в осмотических ячейках, а снаружи. Из-за этого осмотическое давление направлено внутрь и вызывает в стенках цементного камня не растяжение, а сжатие, не опасное для материала.

С точки зрения В.И. Бабушкина, механизм сульфатного разрушения бетона аналогичен схеме разрушения цементного камня из-за набухания геля, образовавшегося при

взаимодействии щелочей цемента с кремнеземом заполнителя. Баженов Ю.М., Бабушкин В.И. предполагают, что при воздействии агрессивной среды на цементный камень происходит послойное разрушение материала с образованием следующих зон: 1) накопления продуктов коррозии; 2) непосредственно коррозии; 3) цементного камня или бетона, в котором не произошло каких-либо фазовых превращений.

Таким образом, достаточно убедительно установлено, что при сульфатной коррозии свойства бетона изменяются значительно и неравномерно по глубине (послойно). Однако экспериментально эти предположения не подтверждены, и нет данных о кинетике изменения в процессе сульфатной коррозии прочностных и деформативных свойств цементного камня на поверхности по объему изделия; о влиянии вида наполнителя на процесс деструкции.

Экспериментально исследовано химическое сопротивление цементных композитов, приготовленных с использованием различных наполнителей: микрокремнезема, шлака, маршалита. Для этого изготавливались образцы размером 20x20x70 мм. За контрольный был принят ненаполненный состав, полученный традиционным способом, при соблюдении В/Ц=В/Т=0,35.

В табл. 1 приведены составы исследуемых композитов.

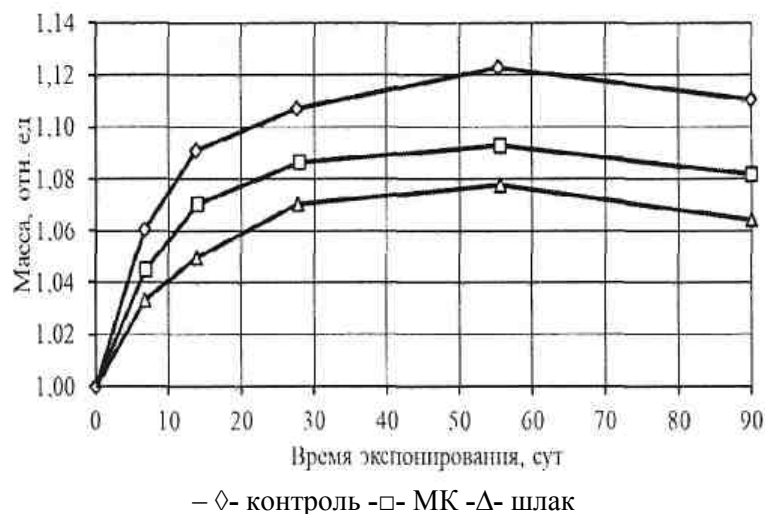
Т а б л и ц а 1

Экспериментальные составы

Состав	Применяемый наполнитель и технология изготовления	В/Ц	В/Т	Расплав L , мм	$R_{сж}$, МПа	$K_{х.с.}$ 90 сутки
1	Без наполнителя	0,35	0,35	113x116	40	0,62
2	Микрокремнезем – 10 %	0,42	0,397	113x115	48	0,9
3	Шлак – 20 %	0,380	0,304	113x112	56	0,92
4	Маршалит – 20 %	0,375	0,3	107x105	41	0,82

Экспериментальные данные, представленные в табл. 1, подтверждают, что минеральные наполнители по-разному влияют на прочность цементных композитов. Применение микрокремнезема и ваграночного шлака способствует повышению прочности материала на 8 и 16 % соответственно. В то же время наполнение маршалитом почти не влияет на прочность. Наполнители повышают химическое сопротивление соответственно: на 30 % – микрокремнезем; на 24 % – маршалит; на 33 % – шлак (по данным на 90-е сутки экспонирования).

В характере изменения массы и объема образцов всех составов также можно отметить общие тенденции. Увеличение массы образцов происходит до 56 суток, увеличение объема – до 28 суток (рис.1).

Рис. 1. Изменение массы в 2 % растворе H₂SO₄ (равноподвижные составы)

Изохроны деградации образцов, наполненных микрокремнеземом в количестве 10 % (рис.2), на 7-е сутки экспонирования в 2 %-м растворе серной кислоты представляют собой прямую линию, проходящую несколько ниже первоначальной, соответствующей микротвердости в 0 суток; деления на зоны не зафиксировано. Зона накопления объемов продуктов реакции, влияющих на прочность, фиксируется только на 14-е сутки выдержки в агрессивном растворе.

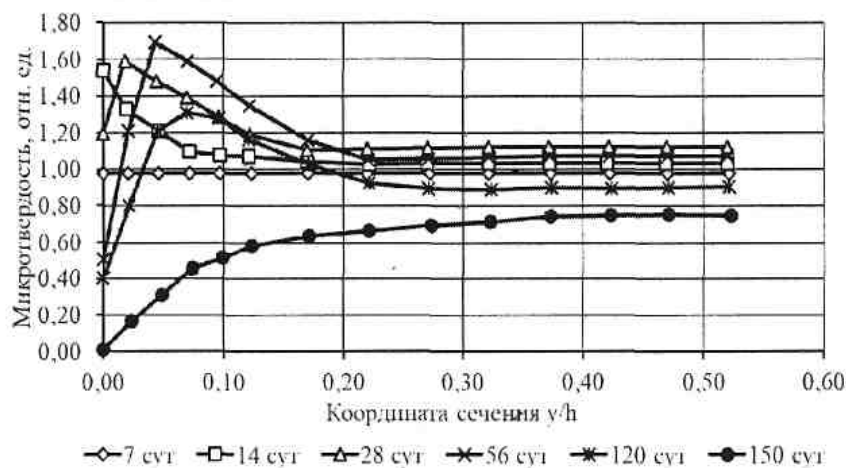


Рис. 2. Изменение микротвердости в 2 % растворе H_2SO_4

Максимальные абсолютные значения микротвердости появляются при критическом заполнении пор продуктами реакции на 56-е сутки экспонирования. На 120-е сутки линия микротвердости располагается выше первоначальной; присутствует деление на три зоны. Полное сглаживание «пиков» происходит лишь на 155-е сутки. Именно с этого момента начинается деградация материала по всему объему.

Поэтому, в отличие от Ю.М. Баженова и В.И. Бабушкина, предлагаем по результатам анализа изохрон деградации в процессе сульфатной коррозии бетона выделить три этапа: 1 – сорбционной (снижение поверхностной энергии бетона при контакте с агрессивной средой, что проявляется в снижении прочности); 2 – накопления продуктов химического взаимодействия; 3 – разрушения структуры бетона и снижения прочности. На первых двух этапах формируются две области взаимодействия: область с ненарушенной структурой и область накопления продуктов взаимодействия. На третьем этапе формируется область разрушения структуры. Если обозначим: a_1 – глубинный показатель, соответствующий границе области разрушения; a_2 – координата границы области с ненарушенной структурой. Тогда первая область имеет границы от 0 до a_1 ; вторая область – $a_1 - a_2$ и третья $a_2 - h/2$, где h – высота поперечного сечения образца.

Образцы, наполненные шлаком, дают максимальное увеличение микротвердости в зоне «пиков» на 28-е сутки экспонирования, после чего начинается их снижение, и на 120-е сутки фиксируется полное сглаживание; зона проникновения агрессивной среды несколько меньше, чем для состава с маршалитом.

При использовании маршалита в качестве наполнителя максимальное увеличение микротвердости отмечается на 7-е сутки экспонирования в 2 %-м растворе серной кислоты. В дальнейшем происходит снижение абсолютных значений в зоне «пиков» и полное их сглаживание на 120-е сутки.

Наиболее сдержанное течение процессов коррозии наблюдается на образцах, наполненных микрокремнеземом, что выражается в более позднем начале деструктивных процессов, этап накопления продуктов коррозии более продолжителен; зона проникновения агрессивной среды меньше, чем для других наполненных составов и на контрольном.

Одним из основных показателей химического сопротивления материала является ордината переднего фронта коррозии, характеризующая глубину повреждения цемент-

ного камня (глубинный показатель). Этот параметр в общем виде предложено определять функциональной зависимостью вида:

$$a = k(\xi)\sqrt{Dt}, \quad (1)$$

где t – время воздействия агрессивного раствора; $k(\xi)$ – коэффициент, учитывающий инструментальную точность определения координаты «а»; для цементного камня можно принять $k(\xi) = 0,1-0,3$; D – коэффициент диффузии.

На рис. 3 представлен график, отражающий зависимость между экспериментальными и теоретическими значениями ординаты переднего фронта коррозии (по табл.2). На рис. 4 приведена зависимость коэффициента переноса агрессивной среды D для контрольного ненаполненного состава, рассчитанного по формуле $D = a^2/0.01t$.

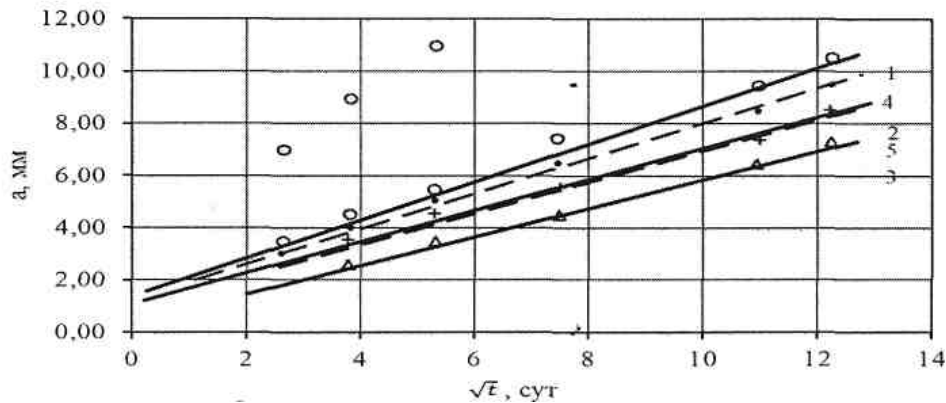


Рис. 3. Изменение глубинного показателя a во времени

Т а б л и ц а 2

Глубина коррозионных повреждений наполненных цементных композитов (миллиметры)

Состав	Применяемый наполнитель и технология изготовления	Время экспонирования в 2 %-м растворе серной кислоты					
		7 сут	14 сут	28 сут	56 сут	120 сут	150 сут
1	Без наполнителя	$\frac{3.5}{2.3}$	$\frac{4.5}{3.2}$	$\frac{5.5}{4.6}$	$\frac{7.5}{6.5}$	$\frac{9.5}{9.5}$	$\frac{10.5}{10.6}$
		$\frac{0}{0}$	$\frac{2.5}{2.2}$	$\frac{3.6}{3.1}$	$\frac{4.5}{4.4}$	$\frac{6.5}{6.5}$	$\frac{7.5}{7.3}$
3	Шлак	$\frac{2.5}{1.8}$	$\frac{3.5}{2.6}$	$\frac{4.5}{3.6}$	$\frac{5.5}{5.1}$	$\frac{7.5}{7.5}$	$\frac{8.5}{8.4}$

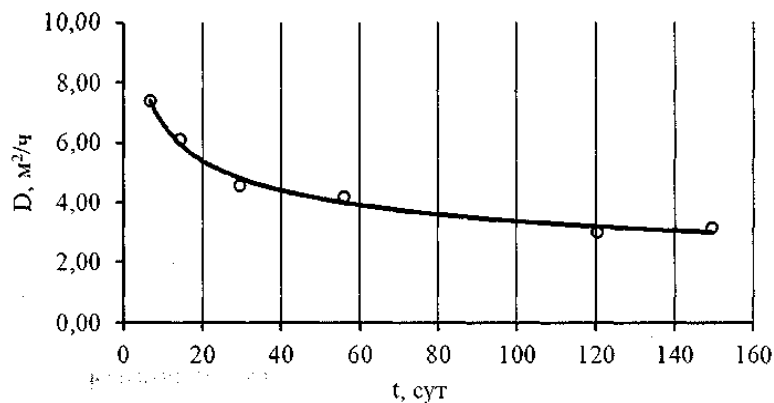


Рис. 4. Зависимость коэффициента переноса агрессивной среды D для контрольного ненаполненного состава

В табл. 2 представлены значения глубинного показателя, определенного экспериментально и рассчитанного по формуле с учетом экспериментальных значений D .

Вторым основным показателем химического сопротивления материалов является коэффициент химической стойкости $K_{х.с.}$, определяемый для внешних, контактирующих с агрессивной средой слоев материала. Склерометрическими исследованиями было установлено, что значения прочности и твердости имеют тесную корреляцию и, следовательно, $K_{х.с.}$ можно определять методами измерения твердости, микротвердости материала.

Коэффициент химической стойкости $K_{х.с.}$ принято находить по изменению прочности (σ) или твердости (H) материала после определенного срока экспонирования ($K_{х.с.} = \sigma_t / \sigma_0 = H_t / H_0$).

Для аппроксимации временной зависимости $K_{х.с.}$ предлагается (ГОСТ 25881–83) использовать функцию вида

$$\lg K_{х.с.} = a + b \lg \tau,$$

где $\lg K_{х.с.}$ и $\lg \tau$ – логарифмы коэффициента химической стойкости и длительности экспонирования; a и b – постоянные для данного вида материала.

При кольматационном механизме коррозии предложено применять функцию вида:

$$K_{х.с.} = b - \alpha t^\beta. \quad (2)$$

В общем случае при $t=0$ $b=1$. Но если материал подвергался действию агрессивной среды до начала испытаний, то можно принять $b < 1$; если в процессе взаимодействия материала с агрессивной средой происходит его временное упрочнение, то можно принять $b > 1$.

Изохроны деградации цементного камня в водном растворе серной кислоты показывают временное упрочнение материала. Тогда при определении $K_{х.с.}(t)$ можно величину b' принять по данным изохрон деградации.

Коэффициенты α и β определяют методом наименьших квадратов.

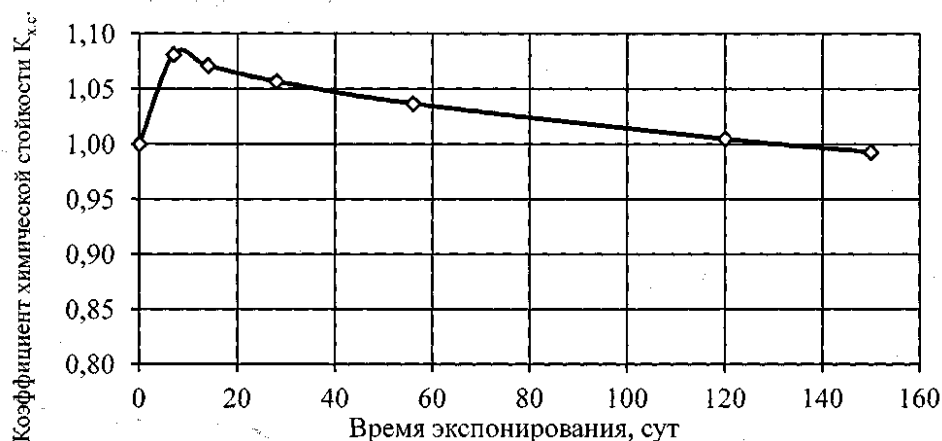


Рис. 5. Изменение коэффициента химической стойкости в 2 % растворе H_2SO_4 (наполнение МК – 10 %)

Применение в качестве наполнителя микрокремнезема обеспечивает: создание более плотной, менее проницаемой структуры; связывание гидрата окиси кальция, что уменьшает количество свободного, реакционноспособного гидрата окиси кальция. Именно этим можно объяснить не столь значительное, по сравнению с ЦК, наполненными шлаком и маршалитом, повышение микротвердости в первые 14 дней.

Графики изменения массы и объема свидетельствуют о том, что взаимодействие водного раствора серной кислоты с цементным композитом инициирует процессы сорбции и десорбции, которые происходят практически одновременно. Первые 30 дней процессы сорбции более интенсивны, что проявляется в повышении прочности,

массы, объема. Затем прочность, объем начинают уменьшаться, однако масса еще увеличивается. Это свидетельствует о том, что начинается процесс разрушения, который сопровождается вымыванием составляющих композита как с поверхности образца, так и из объема.

Предельная сорбционная емкость цементных композитов, определенная по графикам сорбции на участке 0-56 суток, оказалось равной 0,14 для всех составов. Она не зависит ни от вида наполнителя, ни от технологии изготовления образцов. В табл. 3 представлены экспериментальные значения прочности, коэффициента химического сопротивления, сорбционной емкости, полученные по графическим данным ($\hat{\omega}_0, \hat{t}_{0,5}$) и расчетным путем ($\omega_0, t_{0,5}$). Характеристика скорости кинетического процесса $t_{0,5}$ (время полураспада) имеет наибольшие значения для составов, наполненных микрокремнеземом ($\hat{t}_{0,5} = 22, t_{0,5} = 26,3$) и шлаком ($\hat{t}_{0,5} = 27, t_{0,5} = 26,3$), что характеризует эти составы как наиболее стойкие в данной агрессивной среде.

Т а б л и ц а 3

Экспериментальные значения показателей химического сопротивления ($\omega_m, k_{xc}, D_m, t_{0,5}, a$) цементных композитов действию 2 % водных растворов H_2SO_4

№ состава	Наполнитель, технология	В Ц	В Т	$R_{\square}(0)$ МПа	$\frac{R_0(90)}{R_0(0)}$	$\hat{\omega}_m \%$	$\hat{t}_{0,5}, \text{ч}$	a / \hat{a}	$D_m' \cdot 10^{-6}$	$D_m'' \cdot 10^{-6}$
						$\omega_m \%$	$t_{0,5}, \text{ч}$	мм 150 сут	$k_c = 0,17$ м ² /ч	$k(\xi) = 0,4$ м ² /ч
1	Без наполн. – 1	0,35	0,35	40	0,62	$\frac{12.0}{14.0}$	$\frac{11.0}{13.0}$	$\frac{10.5}{10.9}$	0,21	0,19
2	10 % МК – 1	0,45	0,4	44	0,8	$\frac{11.0}{14.0}$	$\frac{13.0}{17.4}$	$\frac{8.5}{9.6}$	0,16	0,125
3	10 % МК – 2	0,42	0,397	47	0,91	$\frac{9.0}{14.0}$	$\frac{22.0}{26.3}$	$\frac{7.5}{7.6}$	0,1	0,09
4	20 % Ш – 1	0,394	0,315	47	0,85	$\frac{9.0}{14.0}$	$\frac{13.0}{15.2}$	$\frac{9.5}{10.18}$	0,18	0,156
5	20 % Ш – 2	0,380	0,304	55	0,93	$\frac{8.0}{14.0}$	$\frac{27.0}{26.3}$	$\frac{8.5}{7.6}$	0,1	0,125
6	20 % М – 1	0,385	0,308	39	0,72	$\frac{11.0}{14.0}$	$\frac{13.0}{18.0}$		0,15	-
7	20 % М – 2	0,375	0,3	44	0,82	$\frac{10.0}{14.0}$	$\frac{20.0}{18.0}$	-	0,15	-

* МК – микрокремнезем; Ш – шлак; М – маршалит.

1 – традиционная, 2 – интенсивная технология.

Графики сорбции и данные по глубине коррозионных повреждений дают возможность проверить точность определения эффективного коэффициента диффузии сорбционным (D_m') и индикаторным (D_m'') методами соответственно по формулам:

$$D_m' = \frac{a^2}{k(\xi)^2 \cdot t}; D_m'' = k_c \frac{R^2}{t_{0,5}}$$

$$\text{где } k(\xi) = 1 - \frac{\omega(t)}{\omega_m}; k_c = \frac{\ell_n(8/\pi^2) - \ell_n\left[\frac{\omega_n - \omega(t)}{\omega_m}\right]}{\left(\frac{\omega(t)}{\omega_m}\right) / \left[1 - \frac{\omega(t)}{\omega_m}\right]}$$

В табл. 3 коэффициент химического сопротивления определен по результатам испытаний после 90x24 часов экспонирования образцов в агрессивной среде $k_c = R_{\square}/R(0)$.

Сорбционная емкость $\hat{\omega}_m$ и характеристика $\hat{t}_{0,5}$ определялись по кривым сорбции и сравнивались с расчетными значениями ω_m и $t_{0,5}$. Глубинный показатель a определяли экспериментально, представлены данные за 150 суток экспонирования. В знаменателе приведены расчетные значения глубинного показателя с учетом, что $k(\xi) = 0,4$. Полученные результаты подтверждают возможность применения сорбционного метода для определения эффективного коэффициента проводимости (диффузии) агрессивной среды и дальнейшего расчета глубины коррозионного повреждения образцов, изделий из цементных композитов.

Список литературы

12. Баженов, Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий / Ю.М. Баженов, А.Г. Комар. – М.: Стройиздат, 1986 – 672 с.
13. Шестоперов, С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений / С.В. Шестоперов. – М.: Транспорт, 1966.
14. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
15. Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001 – 152 с.
16. Армополимербетоны в транспортном строительстве / В.И. Соломатов [и др.]. – М.: Транспорт, 1979.
17. Рахимбаев, Ш.М. Кинетика процессов кольматации при химической коррозии цементных систем / Ш.М. Рахимбаев // Бетон и железобетон. – 2012. – №6. – С.16–17.
18. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
19. Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред / под ред. В.М. Москвина, Ю.А. Савиной. – М.: Стройиздат, 1975. – 236 с.
20. Селяев, В.П. Воздействие растворов серной кислоты на разрушение наполненного цементного камня / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина // Наука: 21 век. – 2015. – № 1, 2. – С. 166–172.
21. Изучение процессов повреждения цементного камня, наполненного цеолитосодержащей породой, растворами хлористоводородной кислоты / В.П. Селяев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – №7. – С. 66–71.
22. Изучение процессов повреждения цементного камня растворами серной кислоты различной концентрации / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, А.А. Седова, А.К. Осипов // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Саранск, 2014. – С. 188–194.

References

1. Bazhenov, Yu.M. Technology of concrete and reinforced concrete products / Yu.M. Bazhenov, A.G. Komar. – M.: Stroyizdat, 1986. – 672 p.
2. Shestoperov, S.V. Durability of concrete transportation structures / S.V. Shestoperov. – M.: Transport, 1966.
3. Solomatov, V.I. Chemical resistance of composite building materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev. – M.: Stroyizdat, 1987. – 264 p.
4. Selyaev, P.V. Chemical resistance-filled cement composites / P.V. Selyaev, V.I. Solomatov, L.M. Oshkina. – Saransk: Publishing house Mordov. University, 2001. – 152 p.
5. Armopolimerconcrete in transport construction / V.I. Solomatov [etc.]. – M.: Transport, 1979.
6. Rakhimbaev, S.M. Kinetics of clogging in chemical corrosion of cement systems / S.M. Rakhimbaev // Concrete and reinforced concrete. – 2012. – N6. – P.16–17.

7. Alekseev, S.N. Corrosion durability of reinforced concrete structures in aggressive industrial environments / S.N. Alekseev, N.To. Rosenthal. – M.: Stroyizdat, 1976. – 205 p.
8. Increase durability of concrete and reinforced concrete when exposed to aggressive environments / ed. by V.M. Moskvina, Yu.A. Savina. – M.: Stroyizdat, 1975. – 236 p.
9. Selyaev, V.P. Impact of solutions of sulfuric acid on the fracture filled with cement stone / V.P. Selyaev, L.I. Kupryashkina // Science: 21. – 2015. – N 1, 2. – P. 166–172.
10. Study of the damage processes of cement stone, filled with ceritadewasa breed solutions of hydrochloric acid / V.P. Selyaev [etc.] // News of higher educational institutions. Construction. – 2014. – N7. – P. 66–71.
11. Study of the damage processes of cement stone with sulphuric acid solutions of various concentrations / V.P. Selyaev, L.I. Kupryashkina, A.A. Sedova, A. K. Osipov // Durability of building materials, products and designs: materials of all-Russian scientific-technical conference. – Saransk. 2014. – P. 188–194.

УДК 691.5

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

Мажитов Еркибулан Бисенгалиевич,
аспирант
E-mail: mazhitov201090@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Mazhitov Erkiyulan Bisengalievich,
Postgraduate
E-mail: mazhitiv201090@gmail.com

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРАСОК НА ОСНОВЕ ПОЛИСИЛИКАТНЫХ РАСТВОРОВ

В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов

Приведены сведения о реологических свойствах жидкого стекла с применением добавок кремнезоля. Установлено, что растворы жидкого стекла являются типичными псевдопластическими телами. В области медленного течения вязкость жидкого стекла постепенно снижается с ростом напряжения сдвига. Показано, что введение добавок кремнезоля в раствор жидкого стекла приводит к снижению значения напряжения, после которого полисиликатный раствор приобретает свойства ньютоновской жидкости. Разработаны рецептуры силикатных красок с применением зольсиликатного связующего.

Ключевые слова: жидкое стекло, покрытия, золь кремниевой кислоты, реология

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PAINTS ON THE BASIS OF POLYSILICATE SOLUTIONS

V.I. Loganina, E.B. Mazhitov

Some information is given on the rheological properties of liquid glass with the use of silica additives. It is established that solutions of liquid glass are typical pseudoplastic bodies. In slow flow, the viscosity of the liquid glass gradually decreases with increasing shear stress. It is shown that the addition of silica additives to the liquid glass solution leads to stress decrease, after which the polysilicate solution acquires the properties of the Newtonian fluid. Formulations of silicate paints using a zolsilicate binder have been developed.

Keywords: liquid glass, coatings, sol of silicic acid, rheology

В практике отделочных работ хорошо зарекомендовали себя силикатные краски [1]. С целью повышения эксплуатационной стойкости покрытий на основе силикатных красок предложено применять в качестве пленкообразователей полисиликатные растворы [2–4]. Полисиликаты характеризуются широким диапазоном степени полимеризации анионов и являются дисперсиями коллоидного кремнезема в водном растворе силикатов щелочных металлов.

Нами получены полисиликатные растворы путем взаимодействия стабилизированных растворов коллоидного кремнезема (золей) с водными растворами щелочных силикатов (жидкими стеклами) [9]. В работе применяли золи кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемые ПК «Промстеклоцентр», натриевое жидкое стекло с модулем $M=2,78$, калиевое жидкое стекло с модулем $M=3,29$.

При разработке рецептуры красок на основе полисиликатных растворов предварительно был определен реологический тип исследуемых растворов.

Реологические свойства материалов чрезвычайно важны как в процессе производства, так и при нанесении ЛКМ, так как они обуславливают такие важные технологические свойства, как образование плотных пигментных осадков, способность к нанесению кистью, образование потеков, розлив и др.

Реологические свойства оценивались по показателям условной вязкости по ВЗ-4, предельного напряжения сдвига с помощью прибора Reotest-2. Результаты исследований приведены на рис. 1–3.

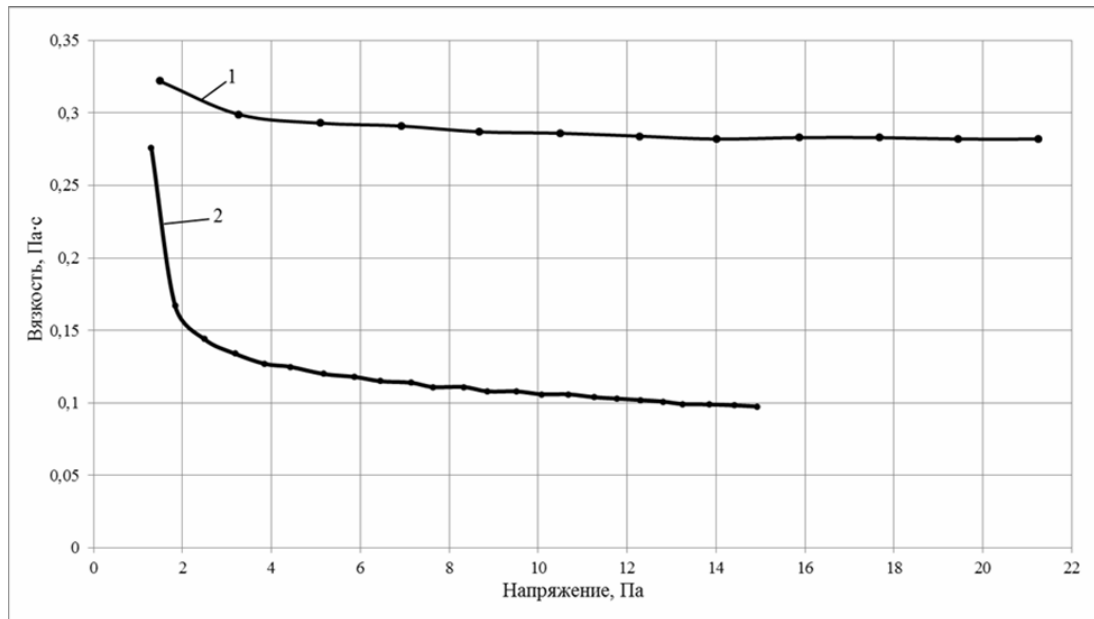


Рис. 1. Реологические кривые течения исследуемых систем:
1 – натриевое жидкое стекло; 2 – натриевый полисиликатный раствор

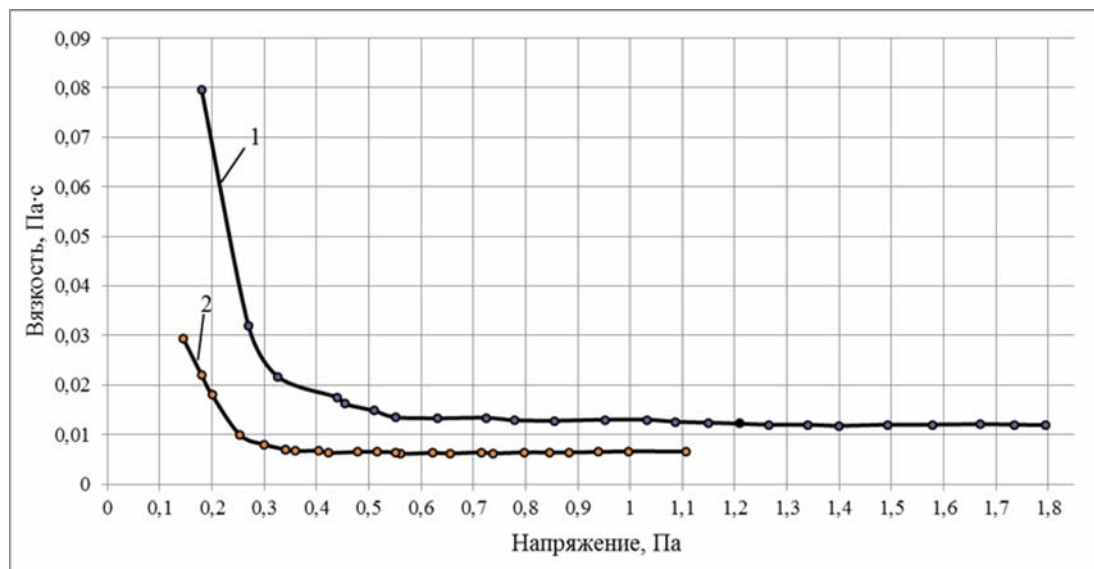


Рис. 2. Реологические кривые течения исследуемых систем:
1 – калиевое жидкое стекло; 2 – калиевый полисиликатный раствор

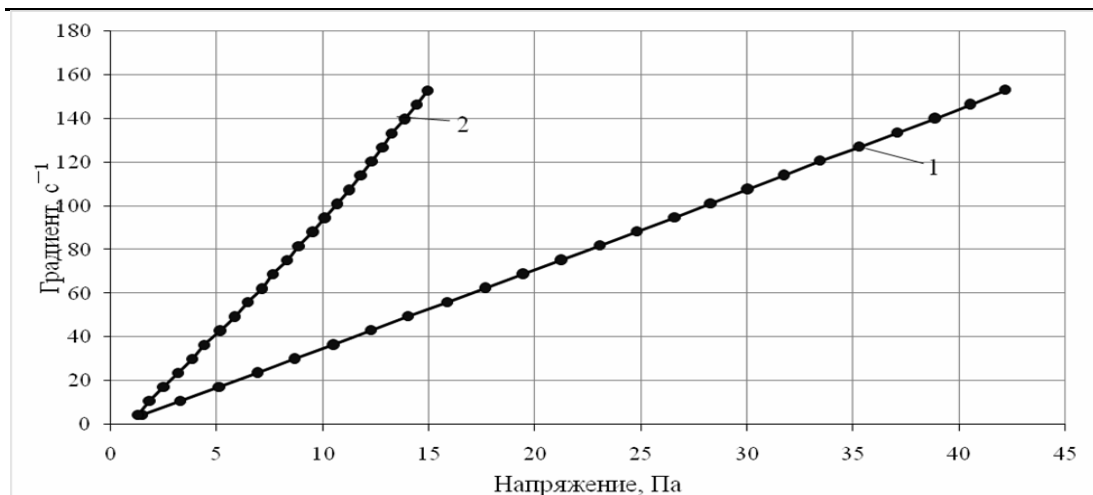


Рис. 3. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига:
1 – натриевое жидкое стекло; 2 – натриевый полисиликатный раствор

Найдено, что все системы являются типичными псевдопластическими телами. В области медленного течения вязкость натриевого жидкого стекла постепенно снижается с ростом напряжения сдвига, после чего, начиная с напряжения сдвига около 14–16 Па, устанавливается режим ньютоновского течения, характеризующийся значениями вязкости от 0,1 Па·с (натриевый полисиликатный раствор) до 0,28 Па·с (натриевое жидкое стекло) (рис. 1).

Аналогичные закономерности характерны и для калиевого жидкого стекла, и калиевого полисиликатного раствора (рис. 2).

В области более высоких напряжений сдвига во всех системах имеет место линейная зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига (выполняется уравнение Бингама) (рис. 3, 4).

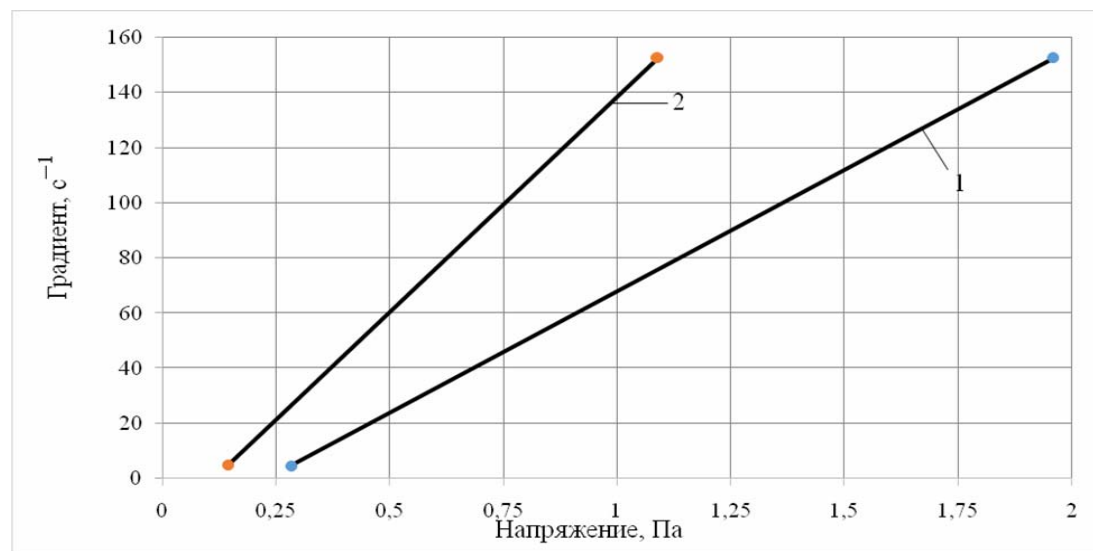


Рис. 4. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига:
1 – калиевое жидкое стекло; 2 – калиевый полисиликатный раствор

Анализ данных, приведенных на рис. 1, 2, свидетельствует, что полисиликатные растворы характеризуются меньшим значением напряжения P_m , после которого раствор приобретает свойства ньютоновской жидкости. Так, у натриевого полисиликатного раствора значение напряжения P_m составляет $P_m = 0,1$ Па·с, а у натриевого жидкого стекла – 0,28 Па·с. Для калиевого полисиликатного раствора значение P_m составляет $P_m = 0,07$ Па·с.

На основе полисиликатного раствора разработана краска, включающая калиевый полисиликатный раствор, наполнители и пигменты, диспергатор. В качестве наполнителя применяли микрокальцит марки МК-2 (ТУ 5743-001-91892010-2011) и тальк марки МТ-ГШМ (ГОСТ 19284-79), в качестве пигмента – диоксид титана 230 рутильной формы (ТУ 2321-001-1754-7702-2014).

На рис. 5 приведена зависимость вязкости краски от содержания пигмента и наполнителя.

Как видно из полученных данных, при наполнении в интервале примерно $0 < \varphi < 0,08$ увеличение вязкости незначительно, полимерная матрица лишь частично переходит в пленочное состояние. При малой концентрации пигмента (наполнителя) граничные слои удаленных друг от друга частиц не представляют собой выделенной в объеме материала самостоятельной фазы, способной оказывать влияние на его свойства. При дальнейшем наполнении ($\varphi > 0,08$) происходит значительное изменение соотношения объемной и пленочной фаз матрицы, наблюдается резкое повышение вязкости состава.

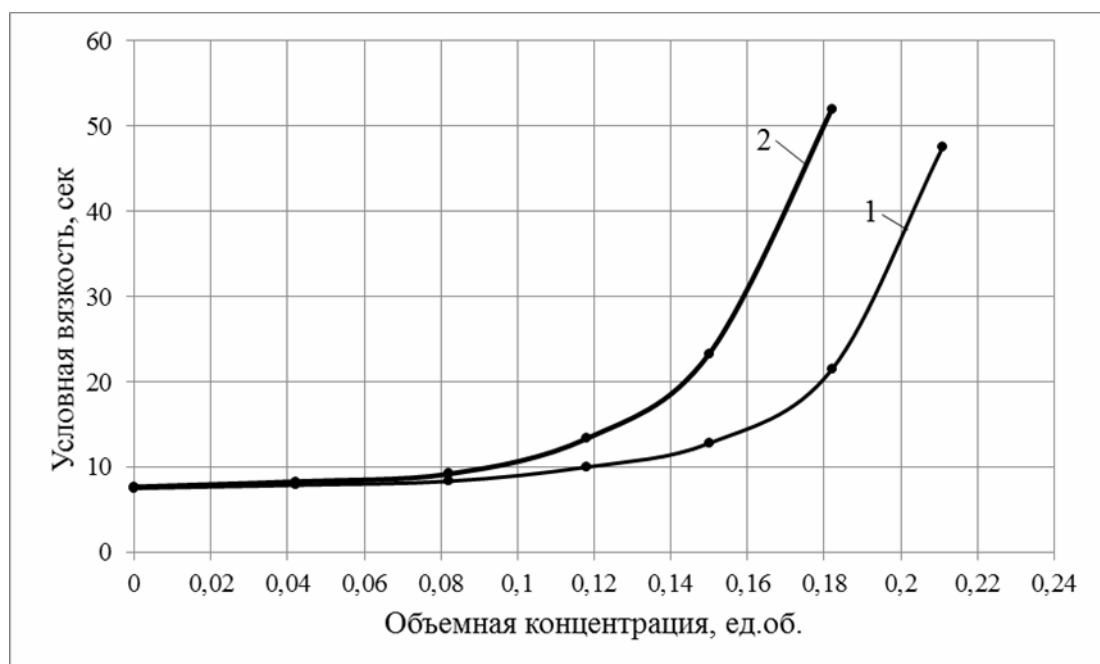


Рис. 5. Зависимость вязкости калиевого жидкого стекла (1) и калиевого полисиликатного раствора (2) от содержания пигмента и наполнителя

Вязкость увеличивается при наполнении, при этом ее изменение при низких степенях наполнения может быть описано уравнением Эйнштейна

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 + 2,5\Phi + 14,1\Phi^2), \quad (1)$$

где η_0 – вязкость ненаполненной системы; Φ – объемная доля наполнителя.

Проверка адекватности модели показала, что уравнение (1) справедливо для калиевого полисиликатного связующего в области наполнения до $\varphi = 0,118$, а для калиевого жидкого стекла – до $\varphi = 0,082$.

Разработана рецептура состава, предназначенного для отделки наружных фасадов и внутренних стен зданий. Вязкость красочных составов составляет 17–20с по ВЗ-4, степень высыхания до степени 5 – 70–90 мин, адгезия к растворной подложке – 1 балл, смываемость – не более 2 г/м². Краска образует покрытие, характеризующееся ровной однородной матовой поверхностью. Стойкость к статическому действию воды при температуре 20°C составляет не менее 24 час.

Список литературы

1. Корнеев, В.И. Производство и применение растворимого стекла / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. – Л.: Стройиздат, 1991. – 176 с.
2. Figovsky, O. Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials/ O. Figovsky, Yu. Borisov, D. Beilin // J. Scientific Israel-Technological Advantages. – 2012. – Vol. 14, No. 1. – P. 7–12.
3. Фиговский, О.Л. Жидкое стекло и водные растворы силикатов как перспективная основа технологических процессов получения новых нанокomпозиционных материалов / О.Л. Фиговский, П.Г. Кудрявцев // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. – 2012. – Т. 4, № 3. – С.6–21.
4. Figovsky, O. Improvement of Strength and Chemical Resistance of Silicate Polymer Concrete / O. Figovsky, D. Beilin // International Journal of Concrete Structures and Materials. – 2009. – Vol. 3, No. 2. – P. 97–101.
5. Логанина, В.И. Разработка рецептуры золь-силикатной краски / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №3. – С.51–53.

References

1. Korneev, V.I. Production and use of soluble glass / V.I. Korneev, V.V. Danilov. – L.: Stroizdat, 1991. – 176 p.
2. Figovsky, O. Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials / O. Figovsky, Yu. Borisov, D. Beilin // J. Scientific Israel-Technological Advantages. – 2012. – Vol. 14, No1. – P. 7–12.
3. Figovsky, O.L. Liquid glass and aqueous solutions of silicates as a promising base of technological processes for the production of new nanocomposite materials / O.L. Figovsky, P.G. Kudryavtsev // Nanotechnologies in Construction: Scientific Internet Magazine. – 2012. – Vol. 4, No. 3. – P.6–21.
4. Figovsky, O. Improvement of Strength and Chemical Resistance of Silicate Polymer Concrete / O. Figovsky, D. Beilin // International Journal of Concrete Structures and Materials. – 2009. – Vol. 3, No. 2. – P. 97–101.
5. Loganina, V.I. Development of the formulation of sol-silicate paint / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, E.B. Mazhitov // Regional architecture and engineering. – 2017. – №3. – P.51–53.

УДК 691.5

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

Куимова Елена Ивановна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Математика и
математическое моделирование»
E-mail: lena-kui@mail.ru

Учаева Татьяна Владимировна,
кандидат экономических наук
доцент кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Kuimova Elena Ivanovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Mathematics and
Mathematical Modeling»
E-mail: lena-kui@mail.ru

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Candidate of Economics, Associate Professor
of the department «Economics, Organization
and Management»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

НОРМАТИВНАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ КАЧЕСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

В.И. Логанина, Е.И. Куимова, Т.В. Учаева

Приведены сведения о результатах расчета обеспечения качества сухих строительных смесей, исходя из требований нормативных документов. Показано, что нормативная обеспеченность качества сухих строительных смесей составляет 0,9447957, что подразумевает вероятность появления брака 5,52 %. С целью обеспечения более высокого уровня качества сухих строительных смесей предложено применение методологии «шесть сигм».

Ключевые слова: сухие строительные смеси, обеспеченность качества, вероятность появления брака

STANDARD SECURITY OF DRY BUILDING MIXTURES QUALITY

V.I. Loganina, E.I. Kuimova, T.V. Uchaeva

The information on the results of calculation the quality assurance of dry building mixtures is given which is, based on the requirements of standard documents. It is shown that standard security of the quality of dry construction mixtures is 0.9447957, which implies a probability of a defects – 5.52 %. In order to ensure a higher level of quality of dry construction, a six-sigma methodology was proposed.

Keywords: dry construction mixtures, quality assurance, probability of defects

Для отделки стен зданий широкое применение находят сухие строительные смеси (ССС) [1]. Известно, что объём отделочных работ наружных стен зданий составляет около 30 % от всех трудозатрат при строительстве. Учитывая высокие трудозатраты, важно достоверно оценивать качество созданных сухих строительных смесей. Несмотря на значительный объём исследований в области создания и управления качеством СССР, многие вопросы требуют дополнительного рассмотрения [2, 3]. В частности, представляет практический интерес совершенствование системы контроля качества СССР, что позволит в дополнение к существующим показателям проводить более объективную оценку качества СССР [4, 5].

Как правило, контроль продукции подразумевает проведение входного, операционного и приемочного контроля. Любой процесс изготовления связан с вариациями его параметров, вызванными большим количеством воздействующих на него факторов.

Известно, что изменчивость свойств строительных материалов подчиняется нормальному закону распределения. Значения показателей качества ССС являются случайными величинами и также подчиняются нормальному закону распределения.

Учитывая нормальный закон распределения и то, что зона удовлетворительного состояния показателя качества содержит 6 «сигм» распределения, каждый показатель сырья, операционного контроля и продукции предусматривает обеспеченность качества, равную 99,73 % [6]. Следовательно, качество конечного продукта – ССС – будет определяться совокупностью индивидуальных показателей качества сырья, операционного контроля и продукции.

Рассмотрим нормативную обеспеченность производства ССС в соответствии с ГОСТ31356-2013 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний». Для этого можно воспользоваться методом структурной схемы надежности (ГОСТ Р 51901.14-2005), который является одним из методов, часто используемых при анализе рисков технических и технологических систем. Структурную схему надежности системы «производство продукции» можно представить как комбинацию последовательно соединенных элементов. Объект состоит из m последовательно соединенных подсистем, i -я подсистема состоит из n_i последовательно соединенных однотипных элементов. Отказ объекта наступает при отказе любой подсистемы. Формула расчета вероятности безотказной работы системы «контроль качества» (надежность) имеет вид

$$P(t) = P_1(t) * P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (1)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента; индекс i соответствует элементам i -й подсистемы.

Входной контроль подразумевает контроль цемента, песка, добавок, операционный контроль – точность дозирования компонентов, время перемешивания, сушку песка.

Контроль цемента предусматривает определение активности (марки), сроков схватывания. Контроль песка – крупность, влажность песка, содержание глинистых и пылеватых зерен.

Свойства сухих смесей характеризуются показателями качества смесей в сухом состоянии, смесей, готовых к применению, и затвердевшего раствора (бетона). Основными показателями качества сухих смесей являются:

- влажность;
- наибольшая крупность зерен заполнителя;
- содержание зерен наибольшей крупности;
- насыпная плотность (при необходимости).

Основными показателями качества смесей, готовых к применению, являются:

- подвижность (кроме клеевых, для клеевых – при необходимости);
- сохраняемость первоначальной подвижности;
- водоудерживающая способность;
- объем вовлеченного воздуха (при необходимости).

Основными показателями качества затвердевшего раствора (бетона) являются:

- прочность на сжатие (кроме клеевых);
- водопоглощение;
- морозостойкость (кроме смесей для внутренних работ);
- прочность сцепления с основанием (адгезия);
- водонепроницаемость (для гидроизоляционных смесей и при необходимости);
- истираемость (для напольных смесей и при необходимости);
- морозостойкость контактной зоны (кроме смесей для внутренних работ).

Будем считать, что контролируемые параметры являются нормально распределенными случайными величинами с математическим ожиданием, совпадающим с номинальным значением и заданным средним квадратическим отклонением σ . Предельно допустимое отклонение от номинального значения $\pm 3\sigma$. При расчете вероятности соблюдения технологии предполагается, что показатели являются независимыми друг от друга [6, 7].

Исходя из структурно-вероятностного анализа, рассматривается схема получения ССС: сырье с определенными свойствами \rightarrow технология \rightarrow ССС. Введем обозначения: событие A – на выходе будет получено ССС; A_1 – обеспечиваются необходимые свойства сырья, A_2 – обеспечивается технология производства; A_3 – обеспечиваются необходимые свойства ССС.

$$A = A_1 A_2 A_3. \quad (2)$$

Соответствующая составляющая A_i обеспечивает требуемый уровень качества с вероятностью $P(A_i)$. По теореме умножения в силу независимости событий A_i имеем

$$P(A) = P(A_1)P(A_2)P(A_3). \quad (3)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 1, 2, 3.

Т а б л и ц а 1

Обеспеченность входного контроля

Наименование сырья	Кол-во показателей	Обеспеченность индивидуального показателя	Обеспеченность подсистемы	Обеспеченность входного контроля
Цемент	Марка	0,9973	0,9946	0,9865671
	Сроки схватывания	0,9973		
Песок	Крупность	0,9973	0,994609	
	Влажность	0,99865		
	Содержание глинистых пылеватых частиц	0,99865		
Водоудерживающая добавка		0,9973	0,9973	

Т а б л и ц а 2

Обеспеченность операционного контроля производства

Наименование показателей	Обеспеченность индивидуального показателя	Обеспеченность операционного контроля
Точность дозирования цемента	0,9973	0,9865725
Точность дозирования песка	0,9973	
Точность дозирования добавки	0,9973	
Сушка песка	0,9973	
Время перемешивания смеси	0,9973	

Обеспеченность приемочного контроля

Наименование показателей	Обеспеченность индивидуального показателя	Обеспеченность приемочного контроля
Влажность	0,99865	0,9786141
Плотность	0,9973	
Водоудерживающая способность	0,99865	
Подвижность	0,9973	
Сохраняемость подвижности	0,9973	
Прочность на сжатие (кроме клеевых)	0,9973	
Водопоглощение	0,9973	
Морозостойкость (кроме смесей для внутренних работ)	0,9973	
Прочность сцепления с основанием (адгезия)	0,9973	
Морозостойкость контактной зоны (кроме смесей для внутренних работ)	0,9973	

Нормативная обеспеченность производства ССС составила 0,9447957. Это предусматривает, что вероятность появления брака составляет 5,52 %. При увеличении показателей качества ССС, предусмотренных нормативными документами в зависимости от области назначения ССС, вероятность появления брака будет увеличиваться.

С целью уменьшения вероятности появления брака можно рекомендовать применение методологии «шесть сигм» [6, 7]. Если в поле допуска будет укладываться не 6 сигм, а 8, 10 или 12 сигм, то вероятность появления брака будет небольшая (табл. 4). При числе среднеквадратических отклонений в поле допуска, равном 8, вероятность появления брака составляет 0,15 %.

Т а б л и ц а 4

Вероятность появления брака

Кол-во среднеквадратических отклонений в поле допуска	Обеспеченность производства	Вероятность появления брака, %
6	0,9447957	5,52
8	0,9984007	0,15
10	0,99988	0,012

Таким образом, применение методологии «шесть сигм» позволяет значительно сократить брак, повысить конкурентоспособность продукции.

Список литературы

1. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси / В.В. Козлов. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2000. – 96 с.
2. Логанина, В.И. Достоверность контроля качества строительных материалов и изделий / В.И. Логанина, А.Н. Круглова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 16–18.
3. Логанина, В.И. К вопросу о достоверности контроля при производстве бетона / В.И. Логанина, А.Н. Круглова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 4. – С. 24–26.
4. Логанина, В.И. Статистическое управление производством строительных изделий / В.И. Логанина, Б.Б. Хрусталева, Т.В. Учаева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 1, № 3 (61). – С. 65–67.

5. Логанина, В.И. К вопросу о системе контроля качества на предприятиях стройиндустрии / В.И. Логанина, Т.В. Учайева // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – № 1. – С. 31–33.
6. Гмурман, В.Е. Теория вероятности и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2005. – 479 с.
7. Пугачев, В.С. Введение в теорию вероятностей / В.С. Пугачев. – М.: Наука, 1968. – 368 с.

References

1. Kozlov, V.V. Dry building mixtures / V.V. Kozlov. – M.: Association of Construction Universities, 2000. – 96 p.
2. Loganina, V.I. Reliability of quality control of building materials and products / V.I. Loganina, A.N. Kruglova // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after A.Sh. V.G. Shukhov. – 2014. – No. 2. – P. 16–18.
3. Loganina, V.I. On the question of the reliability of control in the manufacture of concrete / V.I. Loganina, A.N. Kruglova // Vestnik Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. – 2011. – No. 4. – P. 24–26.
4. Loganina, V.I. Statistical management of production of building products / V.I. Loganina, B.B. Khrustalev, T.V. Uchayeva // East-European Journal of Advanced Technologies. – 2013. – T. 1, No. 3 (61). – P. 65–67.
5. Loganina, V.I. To the question of the quality control system at the enterprises of the construction industry / V.I. Loganina, T.V. Uchayeva // Regional architecture and engineering. – 2010. – No. 1. – P. 31–33.
6. Gmurman, V.E. Theory of probability and mathematical statistics / V.E. Gmurman. – M.: High school, 2005. – 479 p.
7. Pugachev V.S. Introduction to the theory of probability / V.S. Pugachev. – M.: Nauka, 1968. – 368 p.

УДК 691: 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

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ С СИСТЕМНЫХ ПОЗИЦИЙ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Рассматривается аналитическое описание долговечности композиционного материала с использованием методов теории управления. Параметрическая идентификация сводится к определению постоянных времени в дифференциальной модели долговечности второго порядка с учетом их зависимостей от рецептурно-технологических параметров. Каждое из свойств композита рассматривается как один из частных критериев. Предложенный подход использовался для оценки долговечности радиационно-защитного композита с учетом зависимостей основных защитных свойств от рецептурно-технологических параметров, полученных на основе обобщенной модели.

Ключевые слова: системы, композиты, долговечность, дифференциальная модель, параметрическая идентификация

DURABILITY OF MATERIALS FROM SYSTEM POSITIONS

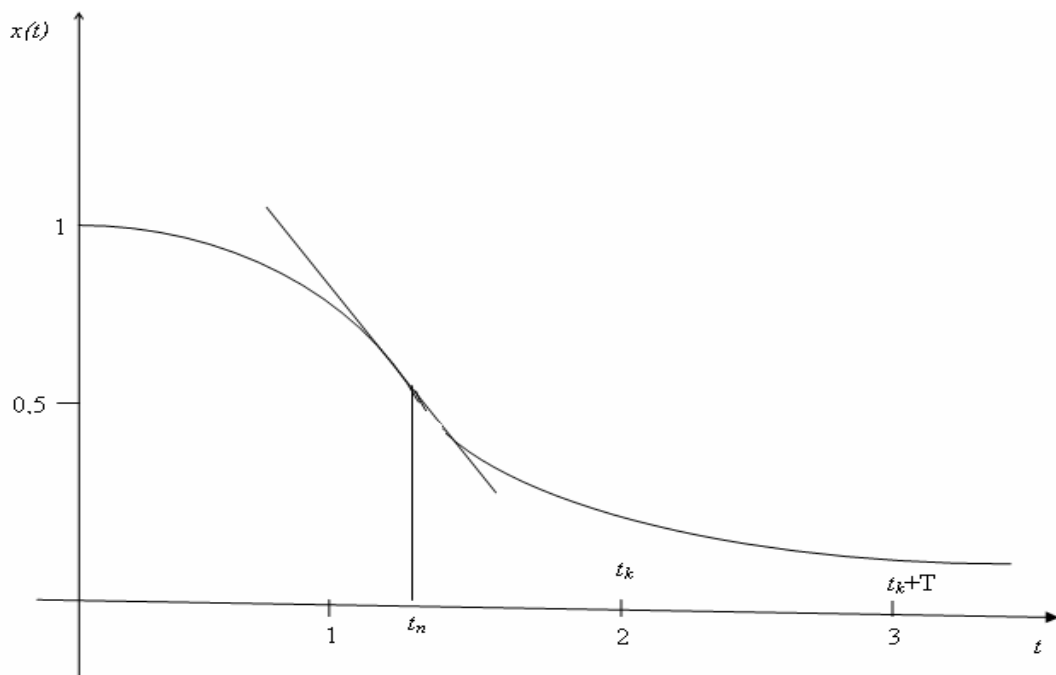
A.M. Danilov, I.A. Garkina

An analytical description of a composite material durability using methods of control theory is considered. Parametric identification is reduced to determining the time constants in the differential second-order longevity model, taking into account their dependencies on the prescription and technological parameters. Each of the properties of the composite is considered as one of the particular criteria. The proposed approach was used to determine the longevity of the radiation-protective composite, taking into account the dependencies of the basic protective properties on the prescription technological parameters obtained on the basis of the generalized model.

Keywords: systems, composites, longevity, differential model, parametric identification

С позиций теории систем разрушение системы можно рассматривать как катастрофу, связанную с нарушением гомеостаза. Такой подход можно использовать, в частности, для изучения долговечности материалов на основе их представления как сложных систем [1...3]. Можно считать, что сложные системы всегда работают как поврежденные: система продолжает функционировать, поскольку содержит множество дополнительных средств обеспечения устойчивости. Ее работу можно рассматривать как перманентно меняющееся сочетание сбоев и восстановлений компонентов. Когда происходят заметные глобальные сбои и несколько мелких, по отдельности безобидных сбоев, объединяются, создается возможность глобальной системной аварии.

Каждый из сбоев провоцирует аварию, но только сочетаясь вместе, они приводят к ней; *возможностей для возникновения системных аварий гораздо больше, чем проявившихся аварий*. Большая часть этих возможностей заранее блокируется уже на ранней стадии развития предусмотренными заранее средствами защиты. Системная авария происходит вследствие сочетания ошибок (действия специалистов рассматриваются как ошибки угадывания будущих неопределенных событий; успешная работа системы также является результатом угадывания, хотя это и не является очевидным и общепринятым). Не существует единственной корневой причины аварии: ретроспективный анализ катастроф, особенно экспертными методами, является необъективным. Объективизация возможна на основе параметрической идентификации множества частных или обобщенного критериев качества сложной системы. Так, при проектировании композитов с заданными свойствами традиционно в качестве частных критериев используются кинетические процессы формирования их свойств. Производится параметрическая идентификация таблично заданных функций специального вида (решения задач Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, в основном, второго порядка). При аperiodическом снижении эксплуатационных характеристик материала оценку его долговечности можно свести к параметрической идентификации функции, график которой имеет вид, приведенный на рисунке (для линейных систем без ущерба общности рассуждений эксплуатационное значение $x(0)$ можно принять равным единице).



К параметрической идентификации эксплуатационной характеристики

Функцию $x(t)$ можно рассматривать как решение операторного уравнения [4]

$$(p^2 - \sigma p + \Delta)X = 0$$

или

$$(T^2 p^2 + 2\xi T p + 1)X = 0,$$

$$T^2 = \frac{1}{\Delta}, \quad 2\xi T = -\frac{\sigma}{\Delta}, \quad T = \frac{1}{\sqrt{\Delta}}, \quad \xi = -\frac{\sigma}{2\sqrt{\Delta}}.$$

Из аperiodичности процесса следует

$$\sigma^2 - 4\Delta > 0; \quad \sigma = a_{11} + a_{22}, \quad \Delta = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}.$$

Имеем:

$$T^2 p^2 + 2\xi T p + 1 = (T_1 p + 1)(T_2 p + 1) = T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2) p + 1;$$

$$T_1 T_2 = T^2, \quad T_1 + T_2 = 2\xi T;$$

$$T_1 = \frac{T}{\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}} = T(\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}), \quad T_2 = \frac{T}{\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}} = T(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1});$$

корни характеристического уравнения равны

$$\lambda_1 = -\frac{1}{T_2}, \lambda_2 = -\frac{1}{T_1}; \quad 0 < T_1 < T_2.$$

Справедливо:

$$x(t) = A e^{-\frac{1}{T_2} t} + B e^{-\frac{1}{T_1} t}.$$

Параметр оптимизации t_n ($\ddot{x}(t_n) = 0$), $\frac{1}{T_2} e^{-\frac{t_n}{T_2}} = \frac{1}{T_1} e^{-\frac{t_n}{T_1}}$, $\frac{T_2}{T_1} = e^{t_n(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})} = e^{t_n(\frac{m-1}{T_2})}$,

$m = e^{t_n(\frac{m-1}{T_2})}$, $t_n = T_2 \frac{\ln m}{m-1} = T_2 \ln(m)^{\frac{1}{m-1}}$, определенный по графику, можно

использовать для контроля или для приближенного вычисления значения показателя m (устанавливает связь между T_1 и T_2 ; $t > 0$; $\frac{m}{m-1} > \frac{1}{m-1}$; $m > 1$; $e^{-\frac{t_n}{T_2}} > e^{-\frac{t_n}{T_1}}$; $T_2 > T_1$):

$$\ln(m)^{\frac{1}{m-1}} = \frac{t_n}{T_2}, \quad (m)^{\frac{1}{m-1}} = e^{\frac{t_n}{T_2}}.$$

Справедливо:

$$x(t) = \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_1}} = y_1(t) - y_2(t); \quad m = \frac{T_2}{T_1};$$

$\forall t > 0$ имеем:

$$y_1(t) > y_2(t).$$

Найдем значение $t = t_k$, при котором $\frac{y_1(0)}{y_1(t_k)} = k_1$, $\frac{y_2(0)}{y_2(t_k)} = k_2$, $\frac{x(0)}{x(t_k)} = k$.

Здесь

$$y_1(t_k) = \frac{m}{m-1} e^{-\frac{t_k}{T_2}}, \quad y_1(0) = \frac{m}{m-1};$$

$$k_1 = e^{\frac{t_k}{T_2}}, \quad \frac{t_k}{T_2} = \ln k_1, \quad t_k = T_2 \ln k_1;$$

$$k_2 = \frac{1}{m-1} : \frac{1}{m-1} e^{-\frac{T_2 \ln k_1}{T_1}} = e^{-m \ln k_1} = e^{\ln k_1^{-m}} = k_1^{-m} = \frac{1}{k_1^m};$$

$$k_2 = \frac{1}{k_1^m};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{m-1}(m e^{-\ln k_1} - e^{-m \ln k_1})} = \frac{1}{(m-1)(m e^{\ln k_1^{-1}} - e^{\ln k_1^{-m}})}; \quad k = \frac{m-1}{\frac{m}{k_1} - \frac{1}{k_1^m}}.$$

Имеем

$$\frac{y_2(t)}{y_1(t)} = \frac{\frac{1}{m-1} e^{-\frac{t}{T_1}}}{\frac{m}{m-1} e^{-\frac{t}{T_2}}} = \frac{1}{m} e^{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)t} < 1$$

$\forall t$, так как $T_2 > T_1$, $\frac{1}{m} < 1$.

Определим значение $t = t_{21}$, чтобы при $t \geq t_{21}$ с точностью β % соблюдалось приближенное равенство

$$x(t) \approx y_1(t).$$

При $t \geq t_{21}$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{m} e^{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)t_{21}} \leq \frac{\beta}{100};$$

$$\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)t_{21} \leq \ln \frac{m\beta}{100}, t_{21} \leq \frac{T_2}{1-m} \ln \frac{m\beta}{100}.$$

При $t = t_{21}$

$$\frac{T_2}{1-m} \ln \frac{m\beta}{100} = T_2 \ln k_1;$$

$$\ln \left(\frac{m\beta}{100}\right)^{\frac{1}{1-m}} = \ln k_1, k_1 = k_1(t_{21}) = \left(\frac{m\beta}{100}\right)^{\frac{1}{1-m}}.$$

При значении $t_{21} = \frac{T_2}{1-m} \ln \frac{m\beta}{100}$, $k_1 = k_1(t_{21})$ и после $t = t_{21}$ можно $y_2(t)$ пренебречь с точностью β %.

В силу $x(t) \approx y_1(t) \forall t \geq t_{21}$

$$k = \frac{x(0)}{y_1(t_{21})} = \frac{m-1}{m} e^{\ln \left(\frac{m\beta}{100}\right)^{\frac{1}{1-m}}} = \frac{m-1}{m} \left(\frac{m\beta}{100}\right)^{\frac{1}{1-m}}.$$

Таким образом,

$$k(t_{21}) \approx \frac{m-1}{m} \left(\frac{m\beta}{100}\right)^{\frac{1}{1-m}}.$$

Истинное значение $k(t_{21})$ определится по формуле

$$k(t_{21}) = \frac{m-1}{m \left(\frac{100}{m\beta}\right)^{\frac{1}{1-m}} - \left(\frac{100}{m\beta}\right)^{\frac{1}{1-m}}}.$$

Значение T_2 определится по концу переходного процесса $x(t)$. Здесь $x(t)$, по существу, является решением уравнения

$$(T_2 p + 1)x = 0; x(t) = c e^{-\frac{t}{T_2}};$$

c определится из начального условия $x(0) = x(t_k)$, $c = x(0)$.

Имеем

$$\frac{x(0)}{x(t_k + T)} = k_T = \frac{x(0)}{x(0)e^{-\frac{1}{T_2}T}} = e^{\frac{T}{T_2}}.$$

Тогда

$$T_2 = \frac{T}{\ln k_T}. \quad (1)$$

При известных табличных значениях эксплуатационной характеристики материала определяются:

$$k = \frac{x(0)}{x(t_k)}; \ln k_1 = \frac{t_k}{T_2}, T_2 = \frac{\ln k_T}{T}.$$

По k_1 из

$$k = \frac{m-1}{\frac{m}{k_1} - 1}$$

определится m , а далее и второй искомым параметр оптимизации

$$T_1 = \frac{T_2}{m}. \quad (2)$$

Предложенный подход использовался для определения долговечности радиационно-защитного композита по (1) и (2) с учетом зависимостей основных защитных свойств от рецептурно-технологических параметров [5, 6], полученных на основе обобщенной модели.

Список литературы

1. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
2. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11(11). – P. 2461–2464.
3. Гарькина, И.А. Управление качеством материалов со специальными свойствами / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Проблемы управления. – 2008. – №6. – С.67–74.
4. Данилов, А.М. Метод пробных воздействий при идентификации композиционных материалов / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №4.
5. Системный анализ в строительном материаловедении: монография / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев. – М.: МГСУ: Библиотека научных разработок и проектов. – 2012. – 432 с.
6. Garkina, I.A. Principles of Optimal Control in the Synthesis of Composite Materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 723. – P.32–36.

References

1. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
2. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11(11). – P. 2461–2464.

3. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11(11). – P. 2461–2464.
4. Danilov, A.M. A method of trial influences at identification of composite materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and construction. – 2017. – №4.
5. Systems analysis in building materials: monograph / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: Moscow State University of Civil Engineering: Library of scientific developments and projects. – 2012. – 432 p.
6. Garkina, I.A. Principles of Optimal Control in the Synthesis of Composite Materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 723. – P.32–36.

УДК 691.328

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Белякова Елена Александровна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Кадастр недвижимости и право»
E-mail: var_lena@mail.ru

Москвин Роман Николаевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Эксплуатация автомобильного
транспорта»
E-mail: moskva_in@mail.ru

Юрова Варвара Сергеевна,
аспирант
E-mail: varya_bel@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

Belyakova Elena Aleksandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Real estate cadastre and right»
E-mail: var_lena@mail.ru

Moskvin Roman Nikolaevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Operation of Road
Transport»
E-mail: moskva_in@mail.ru

Yurova Varvara Sergeevna,
Postgraduate
E-mail: varya_bel@mail.ru

САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ: ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Е.А. Белякова, Р.Н. Москвин, В.С. Юрова

Описана технология производства современных порошково-активированных самоуплотняющихся бетонов, которая позволяет получать затвердевший бетон с нормативной прочностью 150 МПа и более. Она предусматривает не только усовершенствование технологической линии существующих бетоносмесительных узлов для возможности производства бетонов нового поколения, но и введение дополнительных добавок, позволяющих улучшить основные свойства бетонов и бетонных смесей при изготовлении их в промышленных условиях. Исходя из требований к получению высокопрочных бетонов и обеспечению высоких заданных реологических и физико-механических свойств, предложена оптимизация технологии производства современных бетонов из 7–8 компонентов в условиях существующих бетоносмесительных узлов, работающих по традиционной технологии, использующей не более 4 компонентов бетонных смесей.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, оптимизация свойств бетона и бетонной смеси, реологические и физико-механические свойства, технология производства, прочность

SELF-COMPACTING CONCRETE: OPTIMIZATION OF PROPERTIES, PRODUCTION TECHNOLOGY

R.N. Moskvin, E.A. Belyakova, V.S. Yurova

A technology for the production of modern powder-activated self-compacting concrete has been developed. It makes possible to obtain hardened concrete with standard strength of 150 MPa and more. It envisages not only the improvement of the technological line of existing concrete mixing units for the production of new-generation concrete, but also the introduction of additional additives to improve the basic properties of concretes and concrete mixtures manufactured in industrial conditions. According to the requirements for obtaining high-strength concretes and ensuring high rheological and physico-mechanical properties, the authors offer optimization of the technology of production modern concrete from 7 or 8 components in existing concrete-mixing units operating according to the traditional technology using no more than 4 components of concrete mixtures.

Keywords: self-compacting concrete, optimization of concrete and concrete mixture properties, rheological and physical-mechanical properties, production technology, strength

Известно, современный самоуплотняющийся бетон представляет собой материал, который способен уплотняться под действием собственного веса, полностью заполняя форму даже в густоармированных конструкциях. Одной из важнейших проблем при подборе состава бетона является одновременное выполнение противоречивых требований, таких, как высокая прочность затвердевшего бетона (100–150 МПа), высокая подвижность и отсутствие расслаиваемости бетонной смеси и др. Достижение высоких показателей перечисленных свойств возможно благодаря оптимальному подбору гранулометрического состава бетонной смеси и, как следствие, превращению обычного бетона, состоящего из щебня, песка, цемента, воды и химических добавок, в сложный многокомпонентный материал. При этом в составе современного бетона можно выделить несколько масштабных уровней:

- нано- и микроуровень составляют высокодисперсный микрокремнезем (МК), зола-унос, цемент, каменная мука;
- мезоуровень представлен песком с оптимально подобранным гранулометрическим составом фракций 0,1–0,63 мм, 0,63–2,5 мм и 2,5–5,0 мм;
- макроуровень – щебень из прочных пород с размером зерен не более 16 мм.

При этом суммарное содержание компонентов микро- и мезоуровней может достигать 70 %.

Традиционно бетон производится из 4–5 компонентов, поэтому бетоносмесительные узлы имеют ограниченное количество технологического оборудования (силосы и бункеры для хранения сырьевых материалов, транспортное и дозирующее оборудование). Недостатком такой технологии является использование только одного вида песка и не более двух фракций щебня. Традиционная технология позволяет охватить лишь небольшую номенклатуру востребованных бетонных смесей и изделий из них. Кроме того, она требует дополнительного оборудования по формованию изделий (например, виброплощадки и усиленных стальных форм), что в итоге увеличивает себестоимость готовых изделий. Еще одним недостатком традиционных технологий является трудность получения высокопрочных бетонов и чрезмерный расход цемента на единицу прочности (8–15 кг/МПа).

По технологии производства бетонов нового поколения с суперпластификаторами, реологически- и реакционно-активными добавками необходимо изготовить многокомпонентные бетонные смеси (7–8-компонентные) взамен традиционных (5-компонентных). Новые технологии по производству рядовых малоцементных бетонов позволяют снизить расход портландцемента в 2 и более раз. В качестве добавок для таких бетонов целесообразно использовать отходы камнедробления, которые в больших количествах образуются на карьерах по добыче и переработке щебня.

Исходя из этого, предлагается схема технологического процесса производства фракционированных наполнителей и заполнителей из отсевов камнедробления в карьерах.

Добытая в карьере каменная порода подвергается дроблению и последующему разделению на фракции на грохоте. Фракция товарного щебня более 5,0 мм отправляется на склад готовой продукции. Отсев менее 5,0 мм подвергается сушке, а затем транспортируется на классификацию: фракции 0,6–5,0 мм и 0,14–0,63 мм направляются в бункеры для хранения, фракция 0–0,16 мм – на помол до удельной поверхности 300–500 м²/кг, а затем в силосы. При недостатке фракции менее 0,16 мм помолу частично подвергается фракция 0,16–5,0 мм. Каменная мука из хранилища либо транспортируется к потребителю в цементовозах, либо расфасовывается в бумажные клапанные мешки. Более крупные фракции также отгружаются потребителю.

Схема, представленная на рис. 1, описывает виды оборудования и последовательность комплексной подготовки цементно-водно-дисперсной матрицы, включающей цемент, супер- или гиперпластификатор и микрокремнезем с использованием помольного оборудования для однородного смешивания этих компонентов, а также оборудования для подготовки и хранения молотого кварцевого песка, тонкозернистого кварцевого песка фракции 0,14–0,63 мм, песка-заполнителя фракции 0,6–5 мм.

Процедура приготовления бетонных смесей предусматривает подготовку исходных 8 компонентов бетонной смеси (портландцемента, молотого кварцевого песка, МК, тонкого песка, песка-заполнителя, суперпластификатора, фибры, воды), совместный кратковременный (в течение 10–20 мин) помол портландцемента с суперпластификатором и микрокремнеземом. Исходный кварцевый песок подвергают сушке и помолу. Приготовление реакционно-порошковой бетонной смеси основывается на тщательном совместном перемешивании подготовленного комплекса «цемент + МК + СП», молотого высушенного песка и тонкозернистого песка. Добавление к реакционно-порошковой бетонной смеси песка-заполнителя позволяет получить порошково-активированный песчаный бетон; при дополнительном добавлении фибры получаем песчано-активированные фибробетны нового поколения. Перемешивание порошково-активированной песчаной бетонной смеси с указанными наполнителями и водой происходит поэтапно с использованием высокоскоростных смесителей.

Предложенная схема технологического процесса (см. рис. 1) может использоваться для производства как порошково-активированных песчаных, так и щебеночных бетонов (ПАЩБ).

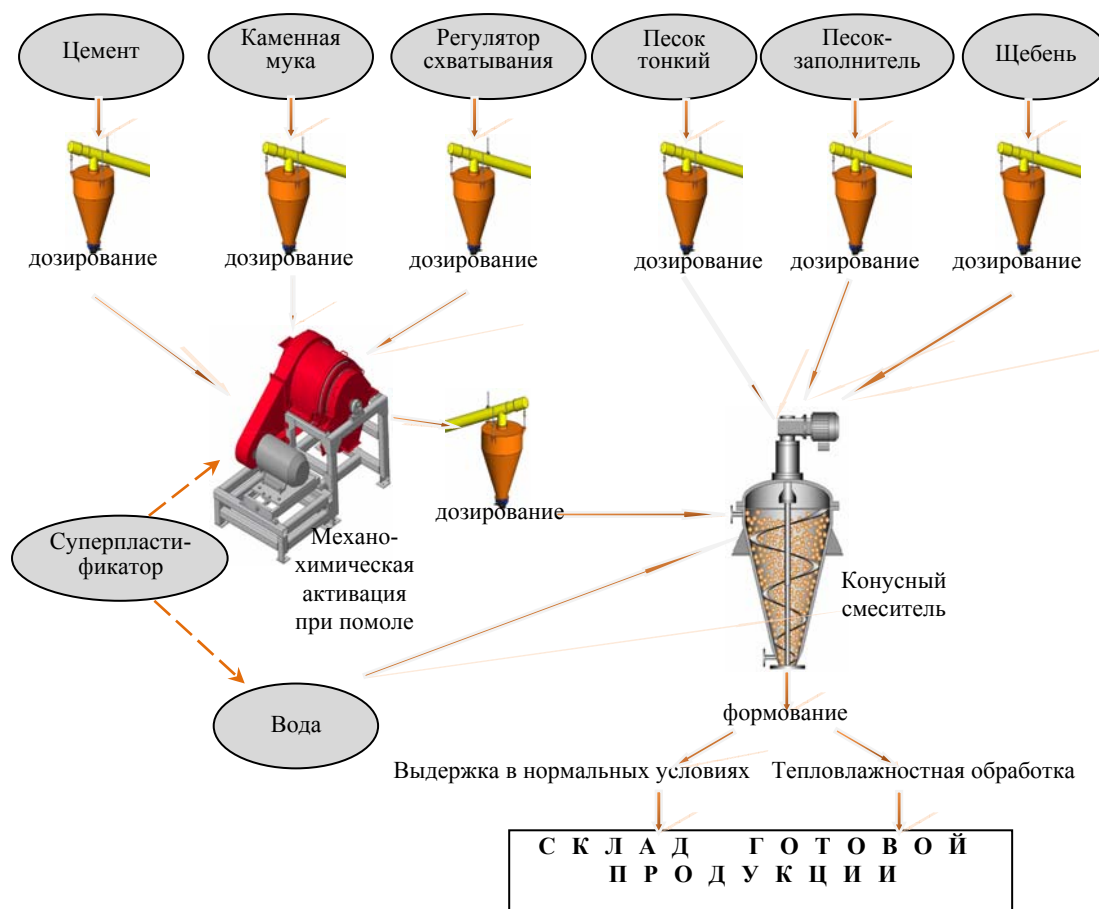


Рис. 1. Схема технологического процесса производства порошково-активированных щебеночных бетонов на цементно-минеральном вяжущем

В технологическую линию предлагается включить конусный смеситель с изменяемым числом оборотов (например, фирмы KNEELE), который является самоочищающимся.

Диапазоны оптимальных объемных содержаний компонентов в реакционно-порошковых и порошково-активированных песчаных и щебеночных бетонах представлены на рис. 2.

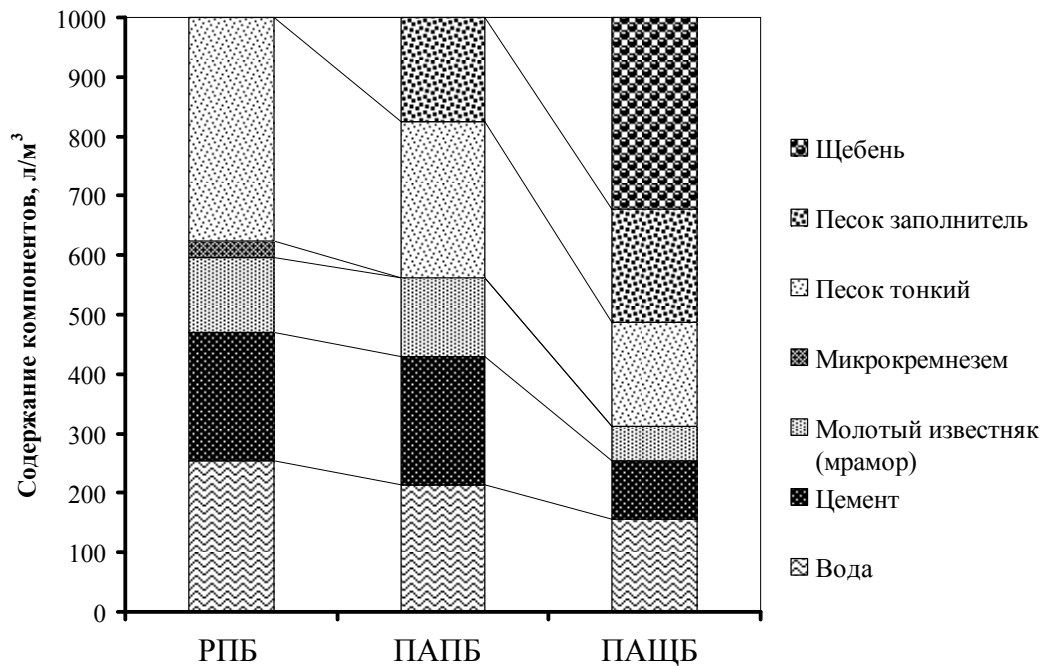


Рис. 2. Диапазоны оптимальных объемных содержаний компонентов в реакционно-порошковых (РПБ) и порошково-активированных песчаных (ПАПБ) и щебеночных (ПАЩБ) бетонах

Для улучшения реологических и технологических свойств бетонной смеси перемешивание требуется проводить в два этапа: на первом – приготовление пластифицированной водно-цементной суспензии с применением скоростного миксера, на втором – суспензии с наполнителем и крупными заполнителями при пониженной скорости перемешивания. Заключительной фазой является укладка бетонной смеси в формы и уплотнение с последующим набором прочности при нормальных условиях или при тепловлажностной обработке.

Как видно, качественное производство современных бетонов требует существенных капиталовложений в заводы строительной индустрии, производящие ЖБК. Это существенно влияет на распространение современных бетонов. Известно, что существующие бетоносмесительные узлы и бетоносмесительные центры (БСУ и БСЦ) по количеству имеющегося оборудования существенно уступают БСУ для производства современных бетонов, а именно: они имеют ограниченное количество бункеров под крупный и мелкий заполнители, на их территории расположены силосы только для цемента, тогда как бункера для фракционированного тонкого песка и каменной муки вообще не предусмотрены. Кроме того, бетоносмесители, установленные на существующих БСУ, не способны регулировать скорость вращения ротора.

Такие ограничения не позволяют полностью раскрыть возможности современного бетона, однако, имея даже такой скудный набор технологического оборудования, можно создавать бетоны, близкие по своим свойствам к лучшим образцам.

Достичь такого результата можно только при выполнении ряда условий и допущений, которые возникают вследствие ограничения максимального количества используемых компонентов (цемент, каменная мука, песок и щебень, вода и химические добавки), при этом требуется, чтобы гранулометрический состав был максимально приближен к аналогичному составу современных бетонов.

Здесь четыре минеральных компонента (гранулометрический состав цемента не учитывается, т.к. количество вводимого цемента определяется прежде всего требуемыми физическими и механическими свойствами), такие, как каменная мука, тонкий песок, песок-заполнитель и щебень, имеют узкодиапазонную гранулометрию. Таким образом, взяв в определенных пропорциях нефракционированные песок и щебень в

сочетании с каменной мукой, можно получить гранулометрический состав смеси, близкий к оптимальному.

Сначала были определены гранулометрический состав песка и щебня (табл. 1 и 2). Гранулометрический состав определялся по стандартной методике методом просеивания на ситах. В качестве песка-заполнителя был взят пензенский песок Сурского карьера.

Т а б л и ц а 1

Рассев Сурского песка

Сито, мм	Частный остаток на сите, %	Полный остаток на сите, %
5	0	0
2,5	1	1
1,2	5	6
0,6	11	18
0,314	32	50
0,1	36	85
Поддон	15	
Модуль крупности песка	1,60	

Т а б л и ц а 2

Фракционный состав отсевов камнедробления (гранит)

Сито, мм	Частный остаток на сите, %
10	5
5,0	60
2,5	15
1,2	5
0,6	6
0,314	3
0,1	4
Поддон	2

Произведя гранулометрический анализ, удалось получить смесь минеральных компонентов, по своему составу близкую к оптимальной (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Соотношение фракций компонентов в смеси

Фракция	Каменная мука 130 кг		Песок Сурский, 390 кг		Отсевы камнедробления, 1220 кг		Тип	Гранулометрический состав смеси, кг	Гранулометрический состав смеси прототипа, кг
	Доля, %	Масса, кг	Доля, %	Масса, кг	Доля, %	Масса, кг			
Более 10	–	–	–	–	5	793	Крупный наполнитель (щебень)	793	845
5,0-10	–	–	–	–	60				
2,5-5	–	–	1	3,9	15	383	Песок-наполнитель	383	315
1,2-2,5	–	–	5	19,5	5				
0,6-1,2	–	–	11	42,9	6				
0,314-0,6	–	–	32	124,8	3	350,6	Тонкий песок	350,6	355
0,1-0,314	–	–	36	140,4	4				
Менее 0,1	100	130	15	58,5	2	213	Тонкодисперсный компонент	213	225

Как видно, полученная смесь минеральных компонентов по фракционному составу реологической матрицы максимально приближена к прототипу, за исключением компонента «песок-заполнитель», где превышение относительно прототипа составило 68 кг. В свою очередь, содержание щебня сократилось на 52 кг.

Для определения взаимосвязи предлагаемой технологии производства и физических и механических свойств бетонов изготовлены образцы бетона по традиционной технологии и технологии современных бетонов, составы которых представлены табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Сравнительный анализ технологий

Параметр технологии	Технология современных бетонов	Традиционные технологии
Портландцемент ЦЕМ I 42,5	450	450
Каменная мука	225	130
Тонкий песок	355	–
Песок-заполнитель	315	–
Фракционированный щебень	845	–
Сурский песок	–	390
Отсев камнедробления	–	1220
Вода	146	154
Melflux 5581F – 1,0 % от массы портландцемента	4,5	4,5
Процедура перемешивания	Двухстадийная: 1 стадия – высокая скорость 2 стадия – низкая скорость	Одностадийная: 1 стадия – низкая скорость
Расплыв конуса, см	60	55

Наблюдается: снижение плотности бетонной смеси и затвердевшего бетона (с 2451 до 2320 кг/м³); снижение прочности (так в 28-суточном возрасте прочность снизилась с 102 МПа до 82 МПа (на 19,6 %)). Эти показатели являются существенными при сравнении с бетонами нового поколения, в то время как на существующих заводах стройиндустрии при расходе цемента 450 кг/м³ могут быть получены бетоны с прочностью при сжатии не более 50 МПа.

Выводы:

1. Предложена новая технология производства порошково-активированных песчаных и щебеночных бетонов с использованием отходов камнедробления, отличающаяся от традиционной большим количеством компонентов бетонной смеси (7–8 компонентов вместо 5), что позволяет получать современные бетоны различных видов и марок при упрощении процесса укладки бетонной смеси.

2. Осуществлена оптимизация состава бетонной смеси с учетом ранжированных критериев, таких, как гранулометрический состав, реологические свойства и расслаиваемость бетонной смеси и прочность затвердевшего бетона.

Список литературы

1. Высокодисперсные наполнители для порошково-активированных бетонов нового поколения / В.И. Калашников [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2014. – №2 (22). – С. 113–118.
2. Самоуплотняющиеся бетоны нового поколения на основе местных сырьевых ресурсов / О.В. Тараканов, В.И. Калашников, Е.А. Беякова, Р.Н. Москвин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 47–53.

3. Калашников, В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2016. – № 1–2. – С. 96–103.

References

1. High-disperse fillers for powder-activated concrete of new generation / V.I. Kalashnikov [etc.] // *Sistemy. Methods. Technologies.* – 2014. – №2 (22). – P. 113–118.
2. Self-compacting concrete of a new generation on the basis of local raw materials resources / O.V. Tarakanov, V.I. Kalashnikov, E.A. Belyakova, R.N. Moskvina // *Regional architecture and engineering.* – 2014. – №2. – P. 47–53.
3. Kalashnikov, V.I. Evolution of composition development and change in strength of concrete. Concretes of the present and the future. Part 1. Changing the composition and strength of concretes / V.I. Kalashnikov // *Building materials.* – 2016. – №1–2. – P. 96–103.

УДК 691.342:620.193.82

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

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, 28, 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, 430000, Saransk, 24,
Sovetskaya St.,
tel.: (8342) 47-71-56

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГРИБОВ-ЛИТОБИОНТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ С ОБРАЗЦОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ В УСЛОВИЯХ МОРСКОГО КЛИМАТА

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

Изучены особенности образования колоний грибов-микромитетов на поверхности образцов эпоксидных композитных материалов на основе различных видов наполнителей. Выявлен видовой состав литобионтов, проведен анализ их видовой разнообразия. Получена информация о видах культур плесневых грибов, колонии которых развиваются в зависимости от условий экспонирования. Выявлены особенности обрастания образцов культурами микромитетов в зависимости от вида наполнителя.

Ключевые слова: эпоксидный композит, биологическая коррозия, грибы-микромитеты

RESEARCH OF LITHOBIONTIC FUNGAL VARIETY IN MODIFIED EPOXY RESIN SAMPLES IN SEA CLIMATE

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

Characteristic properties of fungal micromycete colonies on the surface of epoxy composite samples with different fillers formation have been studied. Types of lithobiontic fungi have been pointed out. Analysis of fungal variety was conducted. Some data on formation of types of fungal cultures depending on exposure conditions has been collected. Particularities of fungal colonies' formation were pointed out based upon the type of a filler.

Keywords: epoxy composite, biological corrosion, fungal micromycetes

Искусственные каменные материалы в условиях эксплуатации сталкиваются с проблемой биологического разрушения [1, 5]. Агрессивными агентами в этом случае являются грибы-микроспиды, способные колонизировать труднодоступный биотоп и выживать в условиях осмотического стресса, недостаточного количества питательных веществ и резкого изменения температур, влажности, освещения. По способности к разрушению композитных материалов все грибы можно условно разделить на агрессивные деструкторы и относительно инертные виды [5]. Первые выделяют органические кислоты, ферменты, физически воздействуют на субстрат, способствуя появлению микротрещин, что, в свою очередь, приводит к изменению микроклимата существования грибной колонии. Грибы-литобионты способны к образованию темных пигментов (что защищает от мутагенного воздействия ультрафиолета), экзополисахаридов. Появление новых анатомических образований позволяет экономить влагу, метаболизм характеризуется экономичностью. Все перечисленные физиологические, биохимические и анатомические приспособления позволяют микроспидам адаптироваться к жизни на твердых и достаточно инертных субстратах.

В связи с актуальностью вопросов, связанных с изучением процессов биологического разрушения композитных материалов, было проведено исследование биологического разнообразия культур грибов, способных в течение одного года заселить образцы модифицированных эпоксидных композитов, выдержанные на воздухе черноморского побережья в условиях открытой площадки, под навесом, а также подвергшиеся старению в морской воде.

Рассматривались образцы эпоксидных композитов на основе различных видов наполнителя [2–4]. В качестве наполнителей были использованы тонкодисперсные отходы строительного производства (ТДОСП), представляющие собой тонкодисперсные волокна асбеста в сочетании с тонкодисперсным портландцементом; волокнистые отходы химической промышленности (ВОХП), представляющие собой тонкодисперсные волокна асбеста с содержанием основных минералов цементного клинкера в количестве от 0 до 10 %; кварцевый песок. В качестве связующего применена эпоксидная смола ЭД-20, в качестве отвердителя – полиэтиленполиамин. Составы образцов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Исследуемые составы

№ состава	Содержание массовых частей в составе				
	ЭД-20	ПЭПА	ТДОСП	ВОХП	Песок
1	100	10	-	-	-
2	100	10	100	-	-
3	100	10	-	100	-
4	100	10	-	-	100

По окончании срока экспозиции были определены грибы, находившиеся на поверхности образцов. Выделение вели методом смыва с поверхности образца с последующим разбавлением и выращиванием на средах Чапека – Докса, Сабуро, картофельном агаре с добавлением глюкозы. Видовое разнообразие отражено в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Видовой состав грибов-литобионтов

Виды микроспидов	Встречаемость при экспозиции в условиях		
	открытой площадки	под навесом	в морской воде
1	2	3	4
<i>Alternaria alternata</i>	-	+	-
<i>Alternaria brassicae</i>	+	+	+
<i>Alternaria pluriseptata</i>	-	+	-
<i>Alternaria solani</i>	+	-	+
<i>Aspergillus oryzae</i>	-	+	-
<i>Aspergillus ustus</i>	+	-	+
<i>Botrysporium piluliferum</i>	+	+	+
<i>Chaetomium dolichotrichum</i>	+	+	+

1	2	3	4
<i>Chaetomium globosum</i>	+	+	-
<i>Cladosporium elatum</i>	+	+	+
<i>Cladosporium herbarum</i>	+	+	-
<i>Fusarium avenaceum</i>	+	+	-
<i>Fusarium moniliforme</i>	+	+	-
<i>Mucor corticola</i>	-	+	-
<i>Paecilomyces variotii</i>	+	+	+
<i>Penicillium canescens</i>	-	-	+
<i>Penicillium chrysogenum</i>	+	+	+
<i>Penicillium corylophilum</i>	+	+	+
<i>Penicillium cyclopium</i>	+	-	-
<i>Penicillium godlewskii</i>	+	-	+
<i>Penicillium nigricans</i>	+	+	+
<i>Penicillium oxalicum</i>	+	-	+
<i>Penicillium urticae</i>	+	-	+
<i>Rhizopus cohnii</i>	-	+	-
<i>Stachybotrys chartarum</i>	+	+	+

В табл. 3 приведен сравнительный анализ видового разнообразия. Для оценки бинарного сходства видов, заселяющих каждый биотоп, был применен коэффициент Серенсена, позволяющий оценить попарное сходство групп видов. Показано, что наибольшее сходство грибных сообществ наблюдается между группами, выделенными с образцов, экспонировавшихся на открытой площадке и в морской воде, и составляет 70 %.

Т а б л и ц а 3

Анализ видового разнообразия

Условия	Открытая площадка	Под навесом	В морской воде
Число видов, обнаруживаемых только в пределах указанных условий экспозиции	1	4	1
Общее число видов, обнаруживаемых в пределах указанных условий	19	18	15
Число видов, обнаруживаемых одновременно в двух условиях экспозиции			
Условия	Открытая площадка	Под навесом	В морской воде
открытая площадка	-	13	14
под навесом	-	-	9
в морской воде	-	-	-
Значения коэффициента Серенсена, %			
Условия	Открытая площадка	Под навесом	В морской воде
открытая площадка	-	54,17	70,00
под навесом	-	-	37,50
в морской воде	-	-	-

Анализ вышеприведенных данных позволяет сделать вывод, что отсутствие прямого солнечного света и ограничение воздушных потоков привели к снижению частоты встречаемости активных грибов-деструкторов *Aspergillus* и *Penicillium*. Достоверно увеличивается частота встречаемости грибов рода *Penicillium* в условиях экспозиции образцов в морской воде. Наличие грибов родов *Mucor* и *Fusarium*, напротив, в данных условиях не отмечено. Условия экспозиции не влияют на развитие грибов родов *Botrysporium* и *Stachybotrys*. Таким образом, снижение влажности и

амплитуды перепадов факторов окружающей среды приводит к уменьшению встречаемости активных деструкторов.

В то же время следует отметить, что образцы ЭКМ на основе ТДОСП показали меньшее содержание грибов-деструкторов на своей поверхности (что проявляется в большей мере при экспозиции в морской воде) по сравнению с материалами на основе ВОХП, кварцевого песка и контрольными составами. Данную особенность можно объяснить присутствием в составе наполнителя продуктов гидратации портланд-цемента. Образцы на основе ВОХП и кварцевого песка показали примерно схожие результаты по обрастаемости культурами микромицетов.

Выводы

1. Получена информация о видах культур плесневых грибов, колонии которых развиваются в зависимости от условий экспонирования. Эти сведения позволяют подобрать моделирующие химические среды для дальнейшего исследования протекания процессов микробиологической коррозии.

2. Проведен сравнительный анализ видового разнообразия микромицетов в зависимости от условий экспонирования.

3. На основании данных, полученных в ходе испытаний, выявлены особенности обрастания образцов культурами микромицетов в зависимости от вида наполнителя.

Список литературы

1. 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.А. Худяков, В.Т. Ерофеев // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2 (27). – С. 32–42.

2. Гаврилов, М.А. Химическое сопротивление эпоксидных композитов на основе отходов производства / М.А. Гаврилов, В.Т. Ерофеев, В.А. Худяков // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3 (28). – С. 60–67.

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. Видовой состав микофлоры, выделенной с полимерных композитов на основе полиэфиракрилатной смолы в условиях влажного морского климата / В.Т. Ерофеев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2 (19). – С. 22–29.

References

1. Evaluation of Effective Types and Consistences of Asbestos-Based Waste Fillers Upon Epoxy Composites And Their Technological and Mechanical Properties / M.A. Gavrilo, D.A. Gubanov, V.A. Hudjakov, V.T. Erofeev // Regional architecture and engineering. – 2016. – Vol. 2 (27). – P. 33–42.

2. Gavrilo, M.A. Chemical Resistance of Epoxy Composites Based on Industrial Waste / M.A. Gavrilo, V.A. Hudjakov, V.T. Erofeev // Regional architecture and engineering. – 2016. – Vol. 3 (28). – P. 60–67.

3. Danilov, A.M. Researching The Construction Materials As Complex Sytems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2016. – Vol. 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 engineering. – 2014. – Vol. 1. – P. 41–52.

5. Types of mycoflora in polymer composites based upon polyephyric acrylate resin in humid nautical climate / V.T. Erofeev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2014. – Vol. 2. – P. 22–29.

УДК 691.342:620.178.2

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

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

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24
тел.: (8342) 47-71-56

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

Мирский Валерий Арнольдович,
инженер кафедры «Строительные
конструкции»

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

Gavriloв 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, 430000, Saransk, 24,
Sovetskaya St.,
tel.: (8342) 47-71-56

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

Mirsky Valeriy Arnoldovich,
Engineer of the department “Building
Construction”

ДЕМПФИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

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

Приводятся результаты исследования демпфирующих свойств эпоксидных композитов на основе различных тонкодисперсных волокнистых материалов и кварцевого песка. Исследование проведено с помощью резонансного метода. Выявлено определяющее влияние вида наполнителя на демпфирующие свойства.

Ключевые слова: эпоксидный композит, полимерные связующие, демпфирующие свойства, модификация

DAMPING PROPERTIES OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES

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

The article provides the results of researching the damping qualities of epoxy composites, which are based on various thinly-dispersed fibrous filler materials and quartz sand the determining. The research was conducted using resonance method. Determining influence of filler type upon the damping qualities was determined.

Keywords: epoxy composite, polymer binders, damping qualities, modification

Развитие техники, связанное с увеличением мощности машин и механизмов и скоростей их работы, приводит к значительному возрастанию шумов и вибраций, понижающих надежность работы оборудования, ухудшающих условия труда. Одним из основных способов их гашения является применение в конструкциях, подверженных воздействию динамических нагрузок, материалов с высокими вибропоглощающими свойствами. Важнейшим показателем, характеризующим возможность материалов сопротивляться нагрузкам, является демпфирующая способность [4, 5].

Многие виды строительных материалов, например бетон, железобетон и дерево, являются высокодемпфирующими. Модифицированные композитные материалы на основе эпоксидной смолы (ЭКМ), в особенности армированные микроволокнами,

также могут обладать высокой степенью поглощения вибрационных колебаний. Известно, что на демпфирующие свойства строительных материалов влияют различные факторы, в первую очередь их структура [1,3]. В большой степени эта зависимость проявляется у материалов, имеющих сложную внутреннюю структуру. Так, полимерным композитам присущи различные механизмы поглощения энергии: жидкостное трение, механический гистерезис, поглощение энергии вследствие релаксации напряжений и деформаций различных спектров, а также рассеяние энергии из-за трения по поверхностям микропор и микротрещин [1, 2].

Из всех структурных параметров наибольшее влияние на демпфирующие свойства ЭКМ оказывают соотношение «полимер – наполнитель» и степень отверждения композита. Улучшению демпфирующих свойств способствует введение в композит армирующих тонкодисперсных добавок. Важную роль играет характер поровой структуры: с ростом пористости отвержденного композита демпфирующие свойства улучшаются, с уменьшением – ухудшаются. Частичное или полное заполнение пор матричным материалом меняет демпфирующие свойства ЭКМ.

Настоящее исследование посвящено оценке демпфирующих свойств ЭКМ с различным содержанием тонкодисперсных армирующих добавок. В качестве наполнителей были использованы кварцевый песок, тонкодисперсные отходы строительного производства (ТДОСП) – молотый шифер, волокнистые отходы химического производства (ВОХП). Подбор наполнителей с низким удельным расходом матричного материала на единицу прочности осуществлялся с использованием следующих основных рецептурных принципов [1, 5].

1. Обязательное использование материалов с микрометрическими параметрами частиц как дисперсных наполнителей, являющихся реологически активными компонентами.

2. Обязательное применение наполнителей с высокой степенью дисперсности, поддерживающей необходимое реологическое и структурное состояние композитной смеси.

3. Низкое отношение количества матричного материала к сумме всех сухих компонентов в композитной смеси; высокая объемная концентрация твердой фазы (не менее 70–75 %).

Демпфирующие свойства цементных композитов определяли резонансным методом [6]. Испытания проводили на консольно закрепленных образцах размером 40×40×160 мм. Вылет консоли составлял 120 мм. Колебания испытываемого образца возбуждались от электромагнитной катушки, для чего к боковой поверхности образца приклеивалась небольшая стальная пластинка. Для записи колебаний использовали пьезоэлектрический датчик ДН-3 с коэффициентом преобразования 10,1 мВ·с²/м. Сигнал от вибропреобразователя подается на виброизмерительный прибор ПИ-19. Контур возбуждения состоит из генератора синусоидальных колебаний звуковой частоты ГЗ-117, усилителя и катушки. Показатели демпфирования (декремент колебаний) определяли при резонансных колебаниях исследуемого объекта при постоянной амплитуде вынуждающей силы. Сначала регистрировали резонансную частоту f_p и амплитуду A_p резонансных колебаний, затем расстраивали резонанс путем изменения частоты вынуждающей силы и регистрировали амплитуду A и соответствующую ей частоту f_a колебаний. По параметрам резонансного пика рассчитывали логарифмический декремент δ колебаний по формуле

$$\delta = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot (1 - Z^2)}{\sqrt{(1 - Z^2 \lambda^2)}},$$

где λ – степень спада амплитуды колебаний, равная A/A_p ; Z – коэффициент расстройки резонанса, равный f_a/f_p .

Исследуемые составы и результаты исследования приведены в таблице.

№ состава	Состав, мас. ч.	Плотность ρ , г/см ³	Прочность на сжатие R , МПа	Логарифмический декремент колебаний δ
1	Эпоксидная смола ЭД-20 – 100, полиэтиленполиамин – 10	1,61	143,7	0,137
2	Эпоксидная смола ЭД-20 – 100, полиэтиленполиамин – 10, кварцевый песок – 100	1,67	142,1	0,105
3	Эпоксидная смола ЭД-20 – 100, полиэтиленполиамин – 10, ТДОСП – 100	1,55	139,4	0,144
4	Эпоксидная смола ЭД-20 – 100, полиэтиленполиамин – 10, ВОХП – 60	1,39	127,4	0,164
5	Эпоксидная смола ЭД-20 – 100, полиэтиленполиамин – 10, кварцевый песок – 60	1,66	141,3	0,109
6	Эпоксидная смола ЭД-20 – 100, полиэтиленполиамин – 10, ВОХП – 30	1,41	126,5	0,158

В первую очередь были исследованы демпфирующие свойства немодифицированного ЭКМ. Введение в состав кварцевого песка способствует повышению плотности по сравнению с контрольным составом, что соответствует ухудшению демпфирующих свойств материала. Изменение массосодержания кварцевого песка не оказывает решающего влияния на декремент колебаний, следовательно, демпфирующие свойства остаются на прежнем уровне.

При введении в состав материала тонкодисперсных волокнистых модификаторов ТДОСП и ВОХП плотность образцов снизилась: в случае с ТДОСП – на 3,8 %, в случае с ВОХП – на 13,7 %. В то же время изменение декремента колебаний составляет 5,1 % (ТДОСП) и 19,7 % (ВОХП). Это позволяет утверждать, что содержание модификаторов положительным образом влияет на демпфирующие свойства материала. Изменение массосодержания волокон в составах на основе ВОХП не оказывает решающего влияния на декремент колебаний.

Выводы

1. Введение в состав ЭКМ тонкодисперсных волокнистых модификаторов положительным образом сказывается на демпфирующих свойствах материала.
2. С помощью резонансного метода определены численные значения логарифмического декремента колебаний для составов с различными модификаторами (кварцевый песок, ТДОСП, ВОХП).
3. На основании данных, полученных в ходе испытаний, выявлена целесообразность применения модификаторов для повышения демпфирующих свойств материала: в первую очередь рекомендованы ВОХП, затем ТДОСП.

Список литературы

1. 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.А. Худяков, В.Т. Ерофеев // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2 (27). – С. 32–42.
2. Гаврилов, М.А. Химическое сопротивление эпоксидных композитов на основе отходов производства / М.А. Гаврилов, В.Т. Ерофеев, В.А. Худяков // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3 (28). – С. 60–67.

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. Гаврилов, М.А. Особо плотные композиты на основе отходов производства / М.А. Гаврилов. – Пенза, 2014. – 132 с.
6. Патент № 2086943 РФ, МПК6 G01M 7/02, G01N 3/32. Способ определения логарифмического декремента колебаний / В.М. Чернышев, В.В. Чернышев. – Опул. 10.08.1997.

References

1. 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 engineering. – 2016. – Vol. 2 (27). – P. 33–42.
2. Gavrilov, M.A. Chemical Resistance of Epoxy Composites Based on Industrial Waste / M.A. Gavrilov, V.A. Hudjakov, V.T. Erofeev // Regional architecture and engineering. – 2016. – Vol. 3 (28). – P. 60–67.
3. Danilov, A.M. Researching The Construction Materials As Complex Sytems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2016. – Vol. 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 engineering. – 2014. – Vol. 1. – P. 41–52.
5. Gavrilov, M.A. Specifically Dense Composites Based on Industrial Waste / M.A. Gavrilov. – Penza, 2014. – 132 p.
6. Patent No.2086943 RF, MPK6 G01M 7/02, G01N 3/32. Way to determine the logarithmic decrement of fluctuations / V.M. Chernyshev, V.V. Chernyshev. – Published 10.08.1997.

УДК 519.7: 691

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

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Предлагаются практические методы решения частной задачи идентификации для формирования физико-механических характеристик композиционных материалов при малых отклонениях от равновесного состояния гетерогенной системы. Основное внимание уделяется материалам, кинетические процессы которых описываются системами обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Показывается возможность обобщений для случая систем с несколькими точками перегиба.

Ключевые слова: композиционные материалы, формирование свойств, кинетические процессы, параметрическая идентификация, методы

KINETIC PROCESSES OF FORMATION THE MATERIALS PROPERTIES, IDENTIFICATION

A.M. Danilov, I.A. Garkina

Practical methods for solving a particular identification problem for the formation of physico-mechanical characteristics of composite materials at insignificant deviations from the equilibrium state of a heterogeneous system are proposed. The main attention is paid to materials whose kinetic processes are described by systems of ordinary differential equations of the second order. The possibility of generalizations for the case of systems with several inflection points is shown.

Keywords: composite materials, formation of properties, kinetic processes, parametric identification, methods

Известно [1...3], что для основных характеристик материала в отклонениях от равновесного состояния кинетические процессы в гетерогенных системах с единственной точкой перегиба являются решением дифференциального уравнения

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + \omega_0^2 z = 0, \quad (n > 0, \quad z = x - x_m). \quad (1)$$

Введя $z = x_1$, $\dot{z} = x_2$, анализ кинетики формирования свойства z сведем к исследованию системы

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2, \\ \dot{x}_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Характеристическое уравнение имеет вид

$$|A - \lambda E| = p^2 - \sigma p + \Delta = 0;$$

$$\lambda_{1,2} = -\frac{1}{T_{1,2}} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} - \Delta} \text{ — его корни.}$$

Общее решение системы представится в виде

$$x_1(t) = \frac{T_2}{T_2 - T_1} c_2 e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_1}{T_2 - T_1} c_1 e^{-\frac{t}{T_1}},$$

$$x_2(t) = \frac{1}{a_{12}} (\dot{x}_1 - a_{11} x_1) = \frac{c_2}{a_{12}(T_2 - T_1)} (-1 - a_{11} T_2) e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{c_1}{a_{12}(T_2 - T_1)} (1 + a_{11} T_1) e^{-\frac{t}{T_1}}.$$

При начальных условиях

$$x_1(0) = x_{10};$$

$$x_2(0) = x_{20}$$

имеем

$$x_1(0) = \frac{1}{T_2 - T_1} (c_2 T_2 - c_1 T_1) = x_{10};$$

$$x_2(0) = \frac{1}{a_{12}(T_2 - T_1)} [-c_2 + c_1 - a_{11}(c_2 T_2 - c_1 T_1)] = x_{20}.$$

Откуда

$$-T_1 c_1 + T_2 c_2 = x_{10} (T_2 - T_1);$$

$$(1 + a_{11} T_1) c_1 - (1 + a_{11} T_2) c_2 = x_{20} (T_2 - T_1) a_{12}.$$

Введем

$$D = T_1 - T_2,$$

$$D_1 = (T_2 - T_1)(-x_{10} - T_2 \dot{x}_{10});$$

$$D_2 = (T_2 - T_1)(-T_1 \dot{x}_{10} - x_{10}).$$

Получим

$$c_1 = \frac{D_1}{D} - T_2 \dot{x}_{10} + x_{10}, \quad c_2 = \frac{D_2}{D} - T_1 \dot{x}_{10} + x_{10};$$

при $t = 0$ из системы получим

$$\dot{x}_1(0) = a_{11} x_1(0) + a_{12} x_2(0);$$

$$\dot{x}_2(0) = a_{21} x_1(0) + a_{22} x_2(0)$$

или

$$\dot{x}_{10} = a_{11} x_{10} + a_{12} x_{20};$$

$$\dot{x}_{20} = a_{21} x_{10} + a_{22} x_{20}.$$

Кроме того

$$\sigma = a_{11} + a_{22};$$

$$\Delta = a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}.$$

Получили 4 уравнения с 4 неизвестными a_{ij} , $i, j = 1, 2$.

Если по $x_1(t)$, $\dot{x}_1(t)$ определить T_1, T_2 , то получим

$$\Delta = \frac{1}{T_1 T_2}, \quad \sigma = -2\xi T \Delta = -\left(\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_1}\right).$$

Таким образом, имеем:

$$\begin{aligned} a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} &= \frac{1}{T_1T_2}, \\ a_{11} + a_{22} &= -\left(\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_1}\right), \\ a_{11}x_{10} + a_{12}x_{20} &= \dot{x}_{10}, \\ a_{21}x_{10} + a_{22}x_{20} &= \dot{x}_{20}. \end{aligned}$$

В частном случае, если $x_{20} = 0$:

$$a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = \frac{1}{T_1T_2}, \quad a_{11} + a_{22} = -\left(\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_1}\right), \quad a_{11} = \frac{\dot{x}_{10}}{x_{10}}, \quad a_{21} = \frac{\dot{x}_{20}}{x_{20}}.$$

Отсюда определяются:

$$a_{11} = \frac{\dot{x}_{10}}{x_{10}}, \quad a_{21} = \frac{\dot{x}_{20}}{x_{20}}, \quad a_{22} = a_{11} - \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}, \quad a_{12} = \frac{1}{a_{21}} \left(a_{11}a_{22} - \frac{1}{T_1T_2} \right).$$

Таким образом, если известны $x_1(t)$, $x_2(t)$, $\dot{x}_1(t)$, $\dot{x}_2(t)$, то коэффициенты a_{ij} можно вычислить по приведенным формулам (задача идентификации решается полностью).

Рассмотрим далее систему

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \delta_1, \\ \dot{x}_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \delta_2, \end{aligned}$$

где δ – управляющее воздействие (изменение рецептурно-технологических параметров).

Здесь решение однородной системы:

$$\begin{aligned} x_1 &= c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t}, \\ x_2 &= \frac{1}{a_{12}} \dot{x}_1 - \frac{a_{11}}{a_{12}} x_1 = \frac{c_1}{a_{12}} (\lambda_1 - a_{11}) e^{\lambda_1 t} + \frac{c_2}{a_{12}} (\lambda_2 - a_{11}) e^{\lambda_2 t}. \end{aligned}$$

Частное решение, соответствующее $\delta(t) = \delta_0$, определится из условий

$$\begin{aligned} a_{11}A + a_{12}B + b_1\delta_0 &= 0, \\ a_{21}A + a_{22}B + b_2\delta_0 &= 0; \\ A &= \frac{\delta_0}{\Delta} (a_{12}b_2 - a_{22}b_1), \\ B &= \frac{\delta_0}{\Delta} (a_{21}b_1 - a_{11}b_2). \end{aligned}$$

Таким образом, общее решение неоднородной системы:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{\delta_0}{\Delta} (a_{12}b_2 - a_{22}b_1) + c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t}, \\ x_2 &= \frac{\delta_0}{\Delta} (a_{21}b_1 - a_{11}b_2) + c_1 \frac{\lambda_1 - a_{11}}{a_{12}} e^{\lambda_1 t} + c_2 \frac{\lambda_2 - a_{11}}{a_{12}} e^{\lambda_2 t}. \end{aligned}$$

При начальных условиях

$$\begin{aligned} x_1(0) &= x_{10}, \\ x_2(0) &= x_{20} \end{aligned}$$

справедливо

$$\frac{\delta_0}{\Delta}(a_{12}b_2 - a_{22}b_1) + c_1 + c_2 = 0,$$

$$\frac{\delta_0}{\Delta}(a_{21}b_1 - a_{11}b_2) + c_1 \frac{\lambda_1 - a_{11}}{a_{12}} + c_2 \frac{\lambda_2 - a_{11}}{a_{12}}.$$

Имеем

$$D = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{a_{12}},$$

$$D_1 = \frac{A(a_{11} - \lambda_2) + a_{12}B}{a_{12}}, \quad D_2 = \frac{A(a_{11} - \lambda_1) + a_{12}B}{a_{12}},$$

откуда

$$c_1 = \frac{A(a_{11} - \lambda_2) + a_{12}B}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad c_2 = \frac{A(a_{11} - \lambda_1) + a_{12}B}{\lambda_2 - \lambda_1}.$$

Справедливо:

$$\dot{x}_{10} = c_1\lambda_1 + c_2\lambda_2 = -(Aa_{11} + a_{12}B),$$

$$\dot{x}_{20} = c_1 \frac{\lambda_1 - a_{11}}{a_{12}} \lambda_1 + c_2 \frac{\lambda_2 - a_{11}}{a_{12}} \lambda_2 = \frac{1}{a_{12}} \left[(Aa_{11} + Ba_{12}) \cdot (a_{11} - \lambda_1 - \lambda_2) + A\lambda_1\lambda_2 \right] =$$

$$= \frac{1}{a_{12}} \left[\dot{x}_{10} (\lambda_1 + \lambda_2 - a_{11}) + A\lambda_1\lambda_2 \right].$$

Получили систему четырех уравнений с четырьмя неизвестными:

$$a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = \frac{1}{T_1T_2};$$

$$a_{11} + a_{22} = -\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right);$$

$$(a_{22}b_1 - a_{12}b_2)a_{11} + (a_{11}b_2 - a_{21}b_1)a_{12} = \frac{\dot{x}_{10}}{T_1T_2\delta_0};$$

$$-\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + a_{11}\right)\dot{x}_{10} + \delta(a_{12}b_2 - a_{22}b_1) = a_{12}\dot{x}_{20}.$$

При известных $b_1, b_2, \delta_0, \dot{x}_{10}, \dot{x}_{20}$ задача параметрической идентификации кинетического процесса и в этом случае решается полностью.

Предложенный подход к исследованию кинетических процессов формирования свойств материалов (параметрическая идентификация) прошел положительную апробацию при синтезе ряда материалов со специальными свойствами [4...6]. Обобщение на случай кинетических процессов, описываемых уравнениями более высоких порядков, не вызывает затруднений.

Список литературы

1. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 10. – P. 421–425.
2. Данилов, А.М. Метод пробных воздействий при идентификации композиционных материалов / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №4.
3. Системный анализ в строительном материаловедении: монография / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев. – М.: МГСУ: Библиотека научных разработок и проектов, 2012. – 432 с.

4. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Journal of Basic and Applied Research International*. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
5. Динамические модели при исследовании кластерообразования в композиционных материалах. Предельные системы / А.П. Прошин, А.М. Данилов, Е.В. Королев, В.А. Смирнов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2003. – № 3. – С. 32–38.
6. 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.

References

1. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8, No. 10. – P. 421–425.
2. Danilov, A.M. A method of trial influences at identification of composite materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // *Regional architecture and construction*. – 2017. – №4.
3. Systems analysis in building materials: monograph / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: Moscow State University of Civil Engineering: Library of scientific developments and projects, 2012. – 432 p.
4. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Journal of Basic and Applied Research International*. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
5. Dynamic model in the study of clusterization of composite materials. Ultimate system / A.P. Proshin, A.M. Danilov, E.V. Korolev, V.A. Smirnov // *News of higher educational institutions. Construction*. – 2003. – №. 3. – P. 32–38.
6. Danilov, A.M. Methodology of design of complex systems in the development of special materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // *News of higher educational institutions. Construction*. – 2011. – №. 1. – P. 80–85.

*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

Коровкин Дмитрий Игоревич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

Бальков Артемий Сергеевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: artbalrun@yandex.ru

Володин Владимир Владимирович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: volodinvv1994@gmail.com

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Макарова Людмила Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: mak.78_08@inbox.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

Korovkin Dmitriy Igorevich,
Postgraduate of the department «Building
structures»

Balykov Artemy Sergeevich,
Postgraduate of the department «Building
structures»
E-mail: artbalrun@yandex.ru

Volodin Vladimir Vladimirovich,
Postgraduate of the department «Building
structures»
E-mail: volodinvv1994@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Makarova Ludmila Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «The quality management and
technology of structural production»
E-mail: mak.78_08@inbox.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО- ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЗДОБАВОЧНОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА*

Т.А. Низина, Д.И. Коровкин, Л.В. Макарова, А.С. Бальков, В.В. Володин

На примере мелкозернистого бездобавочного бетона исследовано влияние температуры испытания на изменение прочностных показателей цементных композитов в различном влажностном состоянии (сухое, равновесно-влажностное, влагонасыщенное). Выявлено положительное влияние отрицательных температур на повышение пределов прочности при сжатии (в 1,4÷1,8 раза) и на растяжение при изгибе (в 2,0÷3,8 раза) для образцов мелкозернистого бетона, находящегося в равновесно-влажностном и влагонасыщенном состояниях.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, температурно-влажностный режим, влагосодержание, показатели пористости, эффект Ребиндера

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-33-50051\17.

STUDYING THE INFLUENCE OF TEMPERATURE-HUMIDITY MODE ON PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CLEAR FINE-GRAINED CONCRETE*

T.A. Nizina, D.I. Korovkin, L.V. Makarova, A.S. Balykov, V.V. Volodin

On the example of non-additives fine-grained concrete the effect of temperature change on the strength characteristics of cement composites in various humid condition (dry, equilibrium and humidity, moisture saturation) is investigated. A positive effect of freezing temperatures to increase the compressive strength (1.4 ÷ 1.8 times) and tensile bending (by 2.0 ÷ 3.8 times) for fine concrete samples in the equilibrium-moisture and moisture-saturated condition is determined.

Keywords: fine-grained concrete, temperature-humidity mode, moisture content, porosity indices, Rebinder effect

Бетон и железобетон были и в ближайшие десятилетия останутся основными строительными материалами. Несмотря на активное развитие направления высококачественных бетонов, большим спросом на строительном рынке пользуются традиционные («классические») трех-четырёхкомпонентные бетоны [1]. Основным показателем качества бетона является его долговечность, на которую большое влияние оказывает не только состав и технология изготовления, но и климатические условия района строительства и эксплуатации.

Физико-механические свойства и структура капиллярно-пористых материалов постепенно изменяются и в конечном счете неизбежно ухудшаются под влиянием циклического воздействия окружающей среды. В реальных климатических условиях на строительные изделия и конструкции непрерывно воздействуют множество агрессивных факторов (перепад температур, солнечный свет, проникающая радиация, влага, кислород) и их комбинации [1–2]. Особенно это касается температурно-влажностного воздействия, поскольку из всех климатических факторов именно комбинация «температура + влажность» оказывает наибольшее влияние на изменение практически всех основных свойств – прочности, деформативности, теплопроводности, морозостойкости и т.д. [3–5].

Благодаря обширной территории, климатические условия в нашей стране весьма разнообразны. Россия располагается в арктическом, субарктическом, умеренном и субтропическом климатах [6]. Умеренный пояс, в котором находится большая часть страны, в свою очередь, делится на: умеренно-континентальный, континентальный, резкоконтинентальный и муссонный.

Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99*», в летний период температура воздуха в Астраханской области может летом подниматься до +45 °С при относительной влажности 18–27 %. При этом в Республике Саха (Якутия) температура воздуха в зимний период может опускаться до -70°С при относительной влажности 89–90 %. В связи с планами расширения добычи нефти и газа в северных регионах России и построения соответствующих терминалов для их транспортировки, исследование влияния различных температурно-влажностных режимов на физико-механические свойства бетона является актуальной задачей.

Цель проводимых исследований заключалась в изучении влияния температуры испытаний на механические показатели бетонных образцов, находящихся в различных влажностных состояниях. В ходе экспериментального исследования изучалось изменение пределов прочности при сжатии и на растяжение при изгибе, а также характеристик поровой структуры мелкозернистого бетона по кинетике его водопоглощения. Образцы в виде призм размером 40×40×160 мм изготавливались на основе портландцемента класса ЦЕМ II/A-III 42,5Н производства «Азия Цемент», Никольского района, Пензенской области; активность на стандартном вольском песке по ГОСТ 310.4–81 на момент испытаний составляла 47,9 МПа. В качестве мелкозернистого заполнителя применялся речной песок с размером зерна менее 5 мм, добываемый в поселке Смольный, Ичалковского района, Республики Мордовия (Ц/П=1/3, В/Ц=0,4).

В ходе экспериментальных исследований по кинетике водопоглощения были определены показатели пористости бетона в соответствии с ГОСТ 12730.4–78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости». Полный объем пор составил 26,6 %, объем открытых капиллярных пор – 13,2 %. Показатель среднего размера открытых капиллярных пор равен 0,134; показатель однородности размеров открытых капиллярных пор – 0,325.

После набора проектной прочности при твердении в нормальных условиях в течение 28 суток при температуре (20 ± 3) °С и относительной влажности воздуха (95 ± 5) % образцы разделялись на три группы. Первая группа образцов высушивалась до постоянной массы в течение 14 суток при температуре 105 °С, вторая – выдерживалась этот же временной промежуток в нормальных лабораторных условиях (температура воздуха (20 ± 3) °С, влажность (50 ± 5) %), третья – помещалась в воду для насыщения до постоянной массы. Средний прирост массы для образцов, находящихся в равновесно-влажностном и влагонасыщенном состояниях, составил соответственно 2,06 и 6,32 % по сравнению с сухими образцами.

Прочностные характеристики (предел прочности при сжатии и на растяжение при изгибе) определялись на установке WilleGeotechnik® (модель 13PD/401) для испытания строительных материалов [7]. Данный пресс, дополнительно оборудованный климатической камерой, позволяет регулировать влажность (от 10 до 96 %) и температуру (от –40 до +100 °С) среды испытания. Установка включает в себя высокоточную систему с разрешением более 1 млн шагов (20 бит) с тремя свободно переключаемыми каналами для каждой оси (усилие, перемещение, давление) и возможностью подключения до 16 дополнительных измерительных каналов. Настройка основных параметров и фиксирование полученных экспериментальных результатов осуществлялись с применением программного обеспечения GEOSYS 8.7.8. Скорость нагружения задавалась в виде постоянного прироста деформаций во времени: для испытаний на растяжение при изгибе – 1 мм/мин, на сжатие – 2 мм/мин. Контроль и фиксация изменений напряжений и деформаций образца в процессе нагружения осуществлялись с шагом 0,01 с.

Определение упругопрочностных характеристик мелкозернистых бетонов проводилось при различных уровнях температуры (–40, –20, 0, +20, +40 °С) и видах влажностного состояния образцов (сухое, равновесно-влажностное, влагонасыщенное). На каждом уровне температуры и влажности испытывалось по 6 образцов-балочек. Перед испытанием образцы помещали в климатическую камеру с последующим доведением температуры в ней до требуемой. Постепенное изменение температурно-влажностного режима позволяет минимизировать вероятность появления внутренних напряжений в образцах в результате резкого изменения температуры. При помещении образцов в климатическую камеру в зависимости от влажностного состояния образцов (сухое, равновесно-влажностное, влагонасыщенное) относительная влажность в камере задавалась, соответственно, на уровнях 10, 50 и 90 %. При достижении требуемого температурного воздействия образцы дополнительно выдерживались в климатической камере еще в течение одного часа.

По результатам проведенных исследований установлено, что при отрицательных температурах прочностные показатели у влагонасыщенных композитов заметно превосходят аналогичные значения сухих и равновесно-влажностных образцов. Предел прочности на растяжение при изгибе влагонасыщенных образцов при температуре –40 °С превосходит значения, полученные для этого же состава при +20 °С, в 3,8 раза (рис. 1), предел прочности при сжатии – в 1,8 раза (рис. 2). Для образцов в равновесно-влажностном состоянии при понижении температуры с +20 до –40 °С также наблюдается повышение прочностных показателей при сжатии и на растяжение при изгибе, соответственно, в 2 и 1,4 раза. Подобное явление в первую очередь связано с образованием в структуре бетона криофазы, вследствие чего развитию трещины препятствует не только сам материал, но и образовавшийся в порах лед. Наиболее значительное повышение прочностных показателей наблюдается для макропористых бетонов, для которых характерно повышенное содержание доли легкозамерзаемой свободной воды в структуре бетона [8]. В процессе разрушения трещина, движущаяся в

материале, встречает дополнительное сопротивление в виде ледяных фрагментов, в результате ее путь увеличивается. Упрочнение происходит за счет затрат дополнительной энергии на разрушение и деформирование ледяных включений, отрыв льда от твердой фазы и т.д. [9–11].

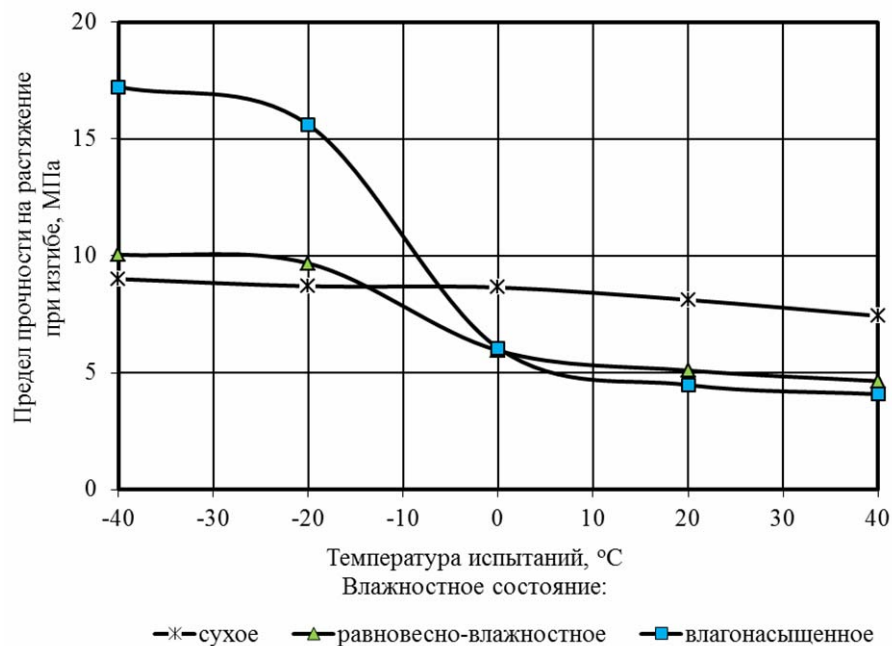


Рис. 1. Изменение предела прочности на растяжение при изгибе бетонных образцов в зависимости от температуры испытаний и влажностного состояния

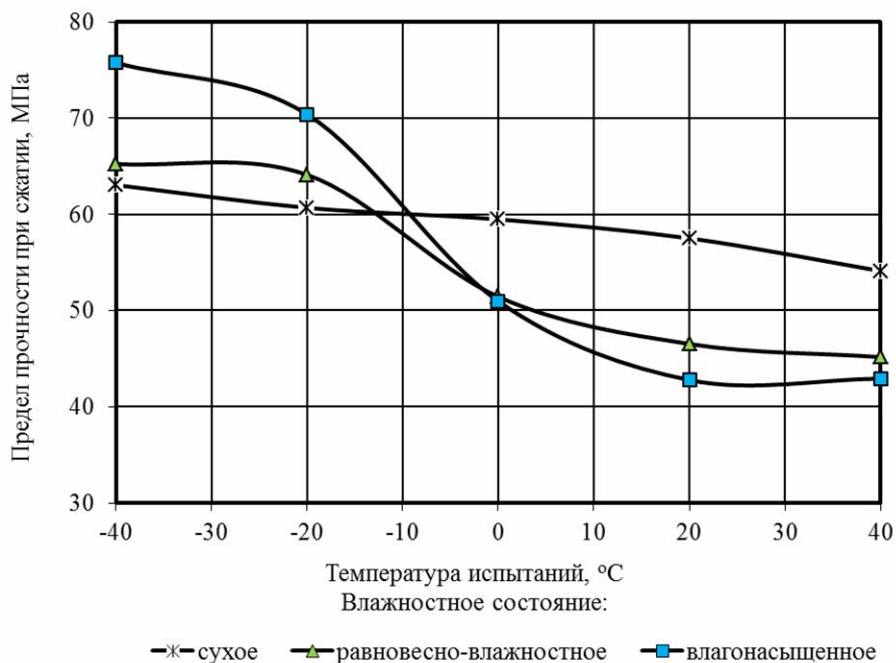


Рис. 2. Изменение предела прочности на растяжение при изгибе бетонных образцов в зависимости от температуры испытаний и влажностного состояния

Существенное снижение прочностных показателей исследуемого цементного композита, находящегося во влагонасыщенном состоянии, можно описать с помощью эффекта Ребиндера, определяемого тремя группами факторов [12]:

- химическим сродством адсорбционно-активной среды и материала;
- гетерогенностью и дефектностью структуры материала;

• условиями деформирования и разрушения материала (температура, вид и скорость приложения внешних механических воздействий, фазовое состояние адсорбционно-активной среды, ее объемное содержание).

Вода, являющаяся адсорбирующим веществом, с повышением температуры быстрее проникает в устья микротрещин, создавая тем самым расклинивающее усилие, что облегчает деформирование, разрушение твердых тел и, как следствие, способствует снижению прочностных показателей бетона.

Согласно полученным результатам, прочностные показатели сухих образцов значительно меньше изменяются в зависимости от температурного режима (см. рис. 1, 2). Повышение прочности как при сжатии, так и на растяжение при изгибе с понижением температуры с +40 до -40 °С составляет, соответственно, всего 17 и 22 %.

Заключение. В связи с гетерогенностью структуры, включающей многокомпонентные и многофазовые поликристаллические агрегаты, мелкозернистые бетоны имеют развитую поровую структуру, что приводит к насыщению их влагой как при эксплуатации в нормальных влажностных условиях, так и при повышенной влажности окружающей среды. В результате варьирования температуры окружающей среды существенно изменяются прочностные показатели цементных композитов, повышаясь для отрицательных температур (от -40 до -20 °С) до 2,0÷3,8 и 1,4÷1,8 раза, соответственно, при испытаниях на изгиб и сжатие, по сравнению с образцами, испытанными при 20 °С. Наибольшее повышение упругопрочностных показателей наблюдается у влагонасыщенных образцов. С повышением температуры происходит снижение вязкости жидкости, что способствует более быстрому доступу воды к вершинам трещин, возникновению расклинивающего усилия и, как следствие, снижению прочностных характеристик бетонов. Для сухих образцов изменение показателей прочности в зависимости от температуры носит практически линейный характер, они снижаются не более чем на 22 %.

Подобные изменения физико-механических свойств мелкозернистых бетонов при воздействии различных температурно-влажностных режимов необходимо учитывать при проектировании конструкций зданий и сооружений для обеспечения их надежной работы в различных климатических условиях.

Список литературы

1. Коротких, Д.Н. Изменения структуры современных цементных бетонов и их конструкционного потенциала при длительном действии температурно-влажностного фактора в эксплуатационном цикле / Д.Н. Коротких // Научный журнал Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектуры. – 2014. – № 2 (34). – С. 34–43.
2. Результаты испытания составов мелкозернистых бетонов, экспонированных в условиях воздействия климатических факторов / В.П. Селяев [и др.] // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 3 (59). – С. 158–166.
3. Славчева, Г.С. Структура высокотехнологичных бетонов и закономерности проявления их свойств при эксплуатационных влажностных воздействиях: автореф. дис.... д-ра техн. наук / Г.С. Славчева. – Воронеж, 2009. – 44 с.
4. Исследование влияния температурно-влажностного режима на упруго-прочностные характеристики мелкозернистых бетонов / А.В. Балбалин, Д.Р. Низин, Т.А. Низина, А.С. Балыков // Материалы IX Международной конференции молодых ученых «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов». – Пенза: Пенз. гос. ун-т архит. и строит., 2014. – С. 8–12.
5. Влияние температурно-влажностного режима на характеристики мелкозернистых бетонов / Т.А. Низина, А.В. Балбалин, Д.Р. Низин, А.С. Сарайкин // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы тринадцатой междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – Ч.1. – С. 45–48.
6. Харламова, Н.Ф. Физическая география и ландшафты России / Н.Ф. Харламова. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2014. – 120 с.

7. Низина, Т.А. Материальная база вуза как инновационный ресурс развития национального исследовательского университета / Т.А. Низина, В.П. Селяев // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 115–121.
8. Славчева, Г.С. Влияние температурно-влажностного состояния на закономерности изменения показателей сопротивления разрушению бетонов / Г.С. Славчева // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – №1. – С. 119–121.
9. Вербицкий, Л.Н. Прочность и долговечность бетона в водной среде / Л.Н. Вербицкий // Прочность и долговечность бетона: сб. науч. тр. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 145–147.
10. Иванова, О.С. Влияние некоторых технологических факторов на прочность бетона в замороженном состоянии / О.С. Иванова, Б.А. Крылов // Бетон и железобетон. – 1972. – № 11. – С. 26–28.
11. Пирадов, К.А. Исчерпание ресурса бетона при температурно-влажностных и силовых воздействиях / К.А. Пирадов // Бетон и железобетон. – 1997. – №6. – С. 26–28.
12. Ребиндер, П.А. Избранные труды: Поверхностные явления в дисперсных системах / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1979. – 384 с.

References

1. Korotkikh, D.N. Changes in the structure of modern cement concretes for their structural potential under the long-term action of the temperature-humidity factor in the operational cycle / D.N. Korotkikh // Scientific Journal of Voronezh GASU. Construction and architecture. – 2014. – No. 2 (34). – P. 34–43.
2. Results of testing the compositions of fine-grained concretes exposed under climatic factors / V.P. Selyaev [et al.] // Construction and Reconstruction. – 2015. – No. 3 (59). – P. 158–166.
3. Slavcheva, G.S. The structure of high-tech concretes and patterns of manifestation of their properties under operational humidity influences: the author's abstract. diss ... doc. tech. sciences / G.S. Slavcheva. – Voronezh, 2009. – 44 p.
4. Investigation of the influence of the temperature-humidity regime on the elastic-strength characteristics of fine-grained concrete / A.V. Balbalin, D.R. Nizin, T.A. Nizina, A.S. Balykov // Materials of the IX International Conference of Young Scientists «Theory and practice of increasing the efficiency of building materials.» – Penza: Penza. state. University of Arts. and builds., 2014. – P. 8–12.
5. Influence of the temperature-humidity regime on the characteristics of fine-grained concrete / T.A. Nizina, A.V. Balbalin, D.R. Nizin, A.S. Saraykin // Topical issues of architecture and construction: materials of the thirteenth international. scientific-techn. Conf.: in 2 parts.– Saransk: Mordov. Publishing House. University, 2014. – Part 1. – P. 45– 48.
6. Kharlamova, N.F. Physical geography and landscapes of Russia / N.F. Kharlamova. – Barnaul: Publishing House of Altai State University, 2014. – 120 p.
7. Nizina, T.A. The material base of the university as an innovative resource for the development of the national research university / T.A. Nizina, V.P. Selyaev // Longevity of building materials, products and structures: all-weather materials. scien.techn. Conf. – Saransk: Mordov. Publishing House. Univ., 2014. – P. 115–121.
8. Slavcheva, G.S. Influence of the temperature-humidity state on the regularity of the change in the resistance to fracture of concrete /G.S.Slavcheva // Herald of Civil Engineers. 2010. – №1. – P. 119–121.
9. Verbitsky, L.N. Strength and durability of concrete in the aquatic environment / L.N. Verbitsky // Strength and durability of concrete: Sat. sci. tr. – M.: Stroiizdat, 1976. – P. 145–47.
10. Ivanova, O.S. The influence of some technological factors on the strength of concrete in the frozen state / O.S. Ivanova, B.A. Krylov // Concrete and reinforced concrete, 1972. – № 11. – P. 26–28.
11. Piradov, K.A. Exhaustion of the concrete resource under temperature-humidity and force effects / K.A. Piradov // Concrete and reinforced concrete. 1997. – №6. – P. 26–28.
12. Rebinder, P.A. Selected Works: Surface phenomena in disperse systems / P.A. Rebinder. – M.: Science, 1979. – 384 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК691:620.19:691.175.5/8

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

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

Низин Дмитрий Рудольфович,
кандидат технических наук,
младший научный сотрудник кафедры
«Строительные конструкции»
E-mail: nizindi@yandex.ru

Ерофеева Алла Александровна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные материалы
и технологии»
E-mail: allaerofeeva@yandex.ru

*Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет*

Россия, 129337, г. Москва,
Ярославское шоссе, д.26

Магдеев Усман Хасанович,
доктор технических наук, профессор,
академик РААСН

*National Research Ogarev Mordovia State
University*

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

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

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

Nizin Dmitriy Rudolfovich,
Candidate of Sciences, Junior researcher of
the department «Building structures»
E-mail: nizindi@yandex.ru

Erofeeva Alla Aleksandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building materials and
technologies»
E-mail: allaerofeeva@yandex.ru
National Research Moscow State University

*Russia, 129337, Moscow, 26,
Yaroslavl highway*

Magdeev Usman Hasanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Academician of the Russian Academy of
Architectural and Construction Sciences

КРИТЕРИИ РАЗРУШЕНИЯ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СЛОИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОЛИМЕРНЫМИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ*

В.П. Селяев, У.Х. Магдеев, Т.А. Низина, Д.Р. Низин, А.А. Ерофеева

Проведен анализ основных причин потери работоспособности полимерных покрытий бетонных и железобетонных изделий и конструкций. Представлены результаты оценки напряженно-деформированного состояния слоистых элементов в зависимости от соотношения модулей упругости, коэффициентов Пуассона и толщин полимерного покрытия и бетонного основания. Получены три предельных условия, выполнение которых позволит обеспечить нормальную работу полимерных покрытий железобетонных изделий и конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивных сред.

Ключевые слова: полимерные покрытия, железобетонные изделия и конструкции, критерии разрушения, напряженно-деформированное состояние, модуль упругости, коэффициент Пуассона, нормальные и касательные напряжения, трещиностойкость, отслоение, скорость насыщения

CRITERIA OF DESTRUCTION AND STRESSED-DEFORMED STATE OF LAYERED ELEMENTS WITH POLYMERIC PROTECTIVE-DECORATIVE COATINGS*

V.P. Selyaev, U.H. Magdeev, T.A. Nizina, D.R. Nizin, A.A. Erofeeva

Analysis of the main causes of losses the efficiency of polymer coatings of concrete and reinforced concrete products and structures is carried out. The results of the evaluation of the stress-strain state of layered elements depending on the ratio of the elastic modulus, Poisson's coefficients and the thicknesses of the polymer coating and the concrete substrate are presented. The fulfillment of three obtained limiting conditions will allow to ensure the normal operation of polymer coatings of reinforced concrete products and structures working in aggressive environment.

Keywords: polymeric coatings, reinforced concrete products and structures, criteria of destruction, stress-strain state, elastic modulus, Poisson's coefficients, normal and tangential stresses, crack resistance, delamination, saturation speed

Одним из радикальных способов защиты поверхности строительных конструкций от действия агрессивных сред с целью повышения их долговечности является использование защитных покрытий на основе полимерных связующих. Бетон в железобетонных конструкциях еще до нагружения имеет дефекты структуры, которые служат очагами дальнейшего трещинообразования при приложении нагрузки. Образованию трещин предшествуют неупругие деформации, способные существенно перераспределять напряжения в случае имеющихся в конструкции элементов, способных принять дополнительные напряжения на себя.

Применение полимерных покрытий для железобетонных конструкций позволяет не только надежно изолировать бетон и арматуру от агрессивного воздействия окружающей среды, но и положительно влиять на характеристики этих конструкций. Как показали исследования в этой области [1–9], покрытия существенно увеличивают трещиностойкость, несущую способность, долговечность конструкций, значительно снижают их усадку, ползучесть, а также деформативность. Повышение трещиностойкости бетона с покрытием по растянутой грани впервые отмечено в работах С.С. Давыдова, В.И. Соломатова, В.П. Селяева, У.Х. Магдеева, Я.И. Швидко, Т.А. Красовской, В. Вайса, Г.Д. Цискрели [10–19].

Полимерные покрытия могут служить своеобразным регулятором процесса структурообразования подложки, что позволяет снизить общий объем макро- и микроде-

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

фектов в теле бетона и на его поверхности, а также изменить характер пористости за счет перевода открытых пор в замкнутые. При этом срок эксплуатации железобетонной конструкции с полимерным покрытием состоит из двух периодов: времени, в течение которого покрытие будет выполнять защитные функции, и времени работы обычного железобетонного элемента без покрытия.

Срок службы защитно-декоративных покрытий зависит от многих факторов: структурной однородности композита, природы структурообразующих компонентов материала, агрессивной среды, напряженно-деформированного состояния композита и т.д. Так как конструкции из композиционных строительных материалов рекомендуются для эксплуатации в условиях действия агрессивных сред, то особое внимание при их расчете следует уделять предельным состояниям, характеризующим трещиностойкость и долговечность элементов [9, 20–24].

Повышение трещиностойкости железобетона полимерными покрытиями, нанесенными на поверхность изгибаемых элементов, может происходить вследствие перераспределения усилий между бетоном, арматурой и полимером, предварительного напряжения железобетона от усадочных деформаций полимера и упрочнения наружных слоев бетона. Расчет конструкций с покрытиями должен производиться по двум группам предельных состояний: по несущей способности и по пригодности к нормальной эксплуатации. Расчет по несущей способности должен обеспечивать прочность, устойчивость и выносливость конструкции при воздействии агрессивных сред, температур и других неблагоприятных факторов.

При расчете по деформациям следует различать три стадии деформирования: до появления трещин в бетоне; до появления трещин в покрытии; до разрушения элемента. Очевидно, что в течение третьей стадии деформирования элемент работает как железобетонный. Поэтому прогибы в данном случае следует определять по формулам, рекомендованным для расчета железобетонных конструкций. Определение прогибов на уровне нагрузки, соответствующей первой и второй стадиям деформирования, необходимо производить с учетом работы полимерного покрытия.

В работе [5] экспериментально доказано, что прочность изгибаемых композиционных материалов слоистого типа повышается на величину усилия, воспринимаемого покрытием, лишь при условии совместной работы покрытия и бетона вплоть до разрушения. Если это условие не выполняется и покрытие отслаивается или растрескивается до разрушения, то его прочность будет определяться по правилам расчета железобетонных изгибаемых элементов.

Основные причины потери работоспособности покрытий могут возникать из-за [20, 23–24]:

- 1) усадки, набухания и возникновения напряжения, которые могут вызвать растрескивание покрытия;
- 2) изменения (ухудшения) свойств защитных покрытий под действием агрессивных сред, что также может привести к разрыву или отслоению;
- 3) возникновения дополнительных напряжений в плотных, паронепроницаемых покрытиях под действием давления пара, которые усугубляют работу защитно-декоративных покрытий.

При оценке напряженно-деформированного состояния слоистых элементов необходимо учитывать соотношение модулей упругости, коэффициентов Пуассона и толщин полимерного покрытия и бетонного основания. В работе [7] приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния слоистых элементов при варьировании перечисленных выше показателей в следующих интервалах: $E_{II} / E_B = 0,1 \div 0,7$; $\mu_{II} / \mu_B = 1,1 \div 1,47$; $\delta_{II} / H = 0,125 \div 0,8$. Установлено, что при действии равномерно распределенной нагрузки по всей площади элемента наблюдается значительное изменение касательных напряжений по горизонтальным площадкам и нормальных напряжений по вертикальным площадкам вблизи контактной зоны и непосредственно в ней.

Из приведенных в работе [7] результатов расчетов следует, что при действии равномерно распределенной нагрузки на слоистые изделия, модуль упругости поли-

мерного покрытия для которых меньше модуля упругости материала основания, возникают растягивающие нормальные напряжения, величина которых зависит от соотношения толщин слоев и их деформативных характеристик. Наибольшие по величине значения σ_x наблюдаются в верхней зоне подстилающего слоя вблизи контактной зоны, наибольшие касательные напряжения τ_{xy} – непосредственно в контактной зоне в крайних сечениях, причем нормальные сечения в данном случае превышают касательные в 2-3 раза.

Для описания комплексного влияния отношения модулей упругости, коэффициентов Пуассона и толщин полимерного покрытия и бетонного основания был использован трехфакторный план экспериментального исследования. Уровни варьирования исследуемых факторов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Варьируемые факторы		Уровни варьирования	
		Минимальный уровень (-1)	Максимальный уровень (+1)
Наименование	Код		
$E_{\Pi} / E_{\text{Б}}$	X_1	0,1	0,7
δ_{Π} / H	X_2	0,125	0,8
$\mu_{\Pi} / \mu_{\text{Б}}$	X_3	1,1	1,47

Используемое полиномиальное уравнение имеет вид

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2, \quad (1)$$

где X_1 – отношение модулей упругости $E_{\Pi} / E_{\text{Б}}$; X_2 – отношение δ_{Π} / H ; X_3 – отношение коэффициентов Пуассона $\mu_{\Pi} / \mu_{\text{Б}}$ полимерного покрытия и бетонного основания.

Числовые значения коэффициентов полиномиальных уравнений для нормальных растягивающих и касательных напряжений приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Вид напряжения, МПа	Коэффициенты полиномиального уравнения (1)										
	b_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	X_1^2	X_2^2	X_3^2
σ_x	0,080	-0,052	0,025	0,012	0,001	0,006	0,005	0,008	0,034	-0,009	0,002
τ_{xy}	0,034	0,354	0,013	0,007	10,319	-0,001	0,001	-3,646	0,013	-0,004	0,002

Трехмерные поверхности, описывающие изменение нормальных растягивающих и касательных напряжений в зависимости от варьируемых факторов, показаны на рис. 1 и 2. Наибольшее повышение нормальных напряжений σ_x наблюдается в случае снижения отношения модулей упругости полимерного покрытия к бетонному основанию, значительно меньшее изменение – в случае варьирования отношения $\mu_{\Pi} / \mu_{\text{Б}}$. Установлено, что увеличение отношения $E_{\Pi} / E_{\text{Б}}$ с 0,1 до 0,7 приводит к повышению значений нормальных σ_x напряжений в зависимости от соотношения модулей упругости и коэффициентов Пуассона от 1,37 до 2,64 раза. Максимальный прирост напряжений наблюдается при $E_{\Pi} / E_{\text{Б}} = 0,5 \div 0,7$ и $\mu_{\Pi} / \mu_{\text{Б}} = 1,1 \div 1,2$.

Анализ трехмерных поверхностей, описывающих изменение касательных напряжений, показал резкое повышение τ_{xy} при одновременном повышении отношения модулей упругости и коэффициентов Пуассона полимерного покрытия и бетонного основания (рис. 2). Увеличение толщины покрытия по отношению к подстилающему слою приводит к значительному повышению минимальных касательных напряжений; при этом уровень наибольших напряжений практически не меняется.

Расчет по прочности элементов конструкций с покрытием должен производиться для наиболее опасных нормальных и наклонных сечений. Расчет сечений, нормальных к продольной оси изгибаемого элемента, необходимо производить исходя из условия

$$M \leq M_{\text{сеч}}, \quad (2)$$

где M – изгибающий момент от внешних нагрузок; $M_{\text{сеч}}$ – изгибающий момент, воспринимаемый сечением.

Расчет наклонных к продольной оси сечений следует производить, исходя из условия

$$Q \leq Q_{\text{сеч}}, \quad (3)$$

где Q – поперечная сила от внешних нагрузок; $Q_{\text{сеч}}$ – поперечная сила, воспринимаемая сечением.

Экспериментально установлено [5], что расчет прочности нормальных сечений композиционных элементов можно производить без учета работы полимерных покрытий, если разрыв покрытий происходит до разрушения элементов или если выполняется неравенство $M_{\text{п}} \leq 0,01M_s$, где $M_{\text{п}}$ и M_s – усилия, воспринимаемые покрытием и арматурой в момент разрушения элемента.

При выполнении неравенства $M_{\text{п}} > 0,01M_s$ расчет прочности нормальных сечений композиционных конструкций производится исходя из предположений: в сечении с трещиной все растягивающие усилия воспринимаются стальной арматурой и полимерным покрытием; в сжатой зоне деформируется бетон. Тогда изгибающий момент, воспринимаемый сечением, определяется как момент внутренних усилий относительно оси, проходящей через точку приложения равнодействующей сжимающих напряжений в сжатой зоне бетона:

$$M_{\text{сеч}} = R_s \cdot A_s + m_1 \cdot \sigma_{\text{п}} \cdot A_{\text{п}}, \quad (4)$$

где R_s и A_s – расчетное сопротивление арматуры; $\sigma_{\text{п}}$ – напряжения в покрытии, расположенном в растянутой зоне; $A_{\text{п}}$ – площадь поперечного сечения покрытия; m_1 – коэффициент, учитывающий равномерность распределения напряжений по высоте покрытия.

Поперечная сила, воспринимаемая рабочим сечением, определяется из расчетной схемы по формуле

$$Q_{\text{сеч}} = R_{\text{св}} \cdot A_o \cdot \sin \alpha + \sum R_{\text{св}} \cdot A_{\text{св}} + k_1 \cdot \sigma_{\text{п}} \cdot A_{\text{п}} + Q_{\text{бв}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{бв}}$ – поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны в наклонном сечении. Величина $Q_{\text{бв}}$ равна:

$$Q_{\text{бв}} = (k_2 \cdot R_{\text{пг}} \cdot b \cdot h_o^2) / c, \quad (6)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, принимаемые согласно СНиП 52-01–2003; c – длина проекции наклонного сечения на продольную ось элемента; b и h_o – размеры поперечного сечения в пределах наклонного сечения; $R_{\text{пг}}$ – расчетное сопротивление покрытия растяжению.

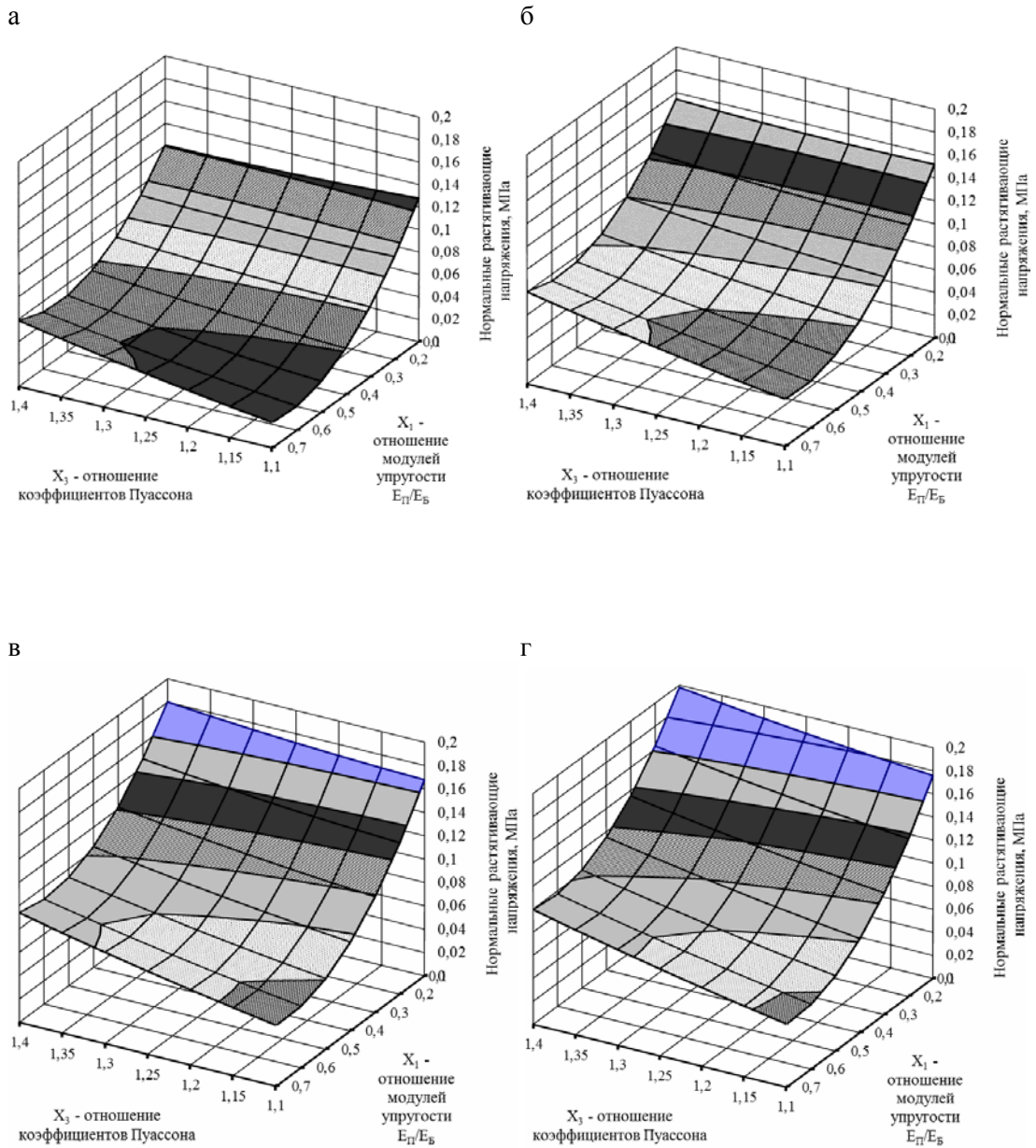


Рис. 1. Изменение нормальных растягивающих напряжений в зависимости от отношений модулей упругости $E_{\Pi} / E_{\text{Б}}$ и коэффициентов Пуассона $\mu_{\Pi} / \mu_{\text{Б}}$ полимерного покрытия и бетонного основания при соотношении их высот δ_{Π} / H (X_1): а – 0,1; б – 0,3; в – 0,5; г – 0,7

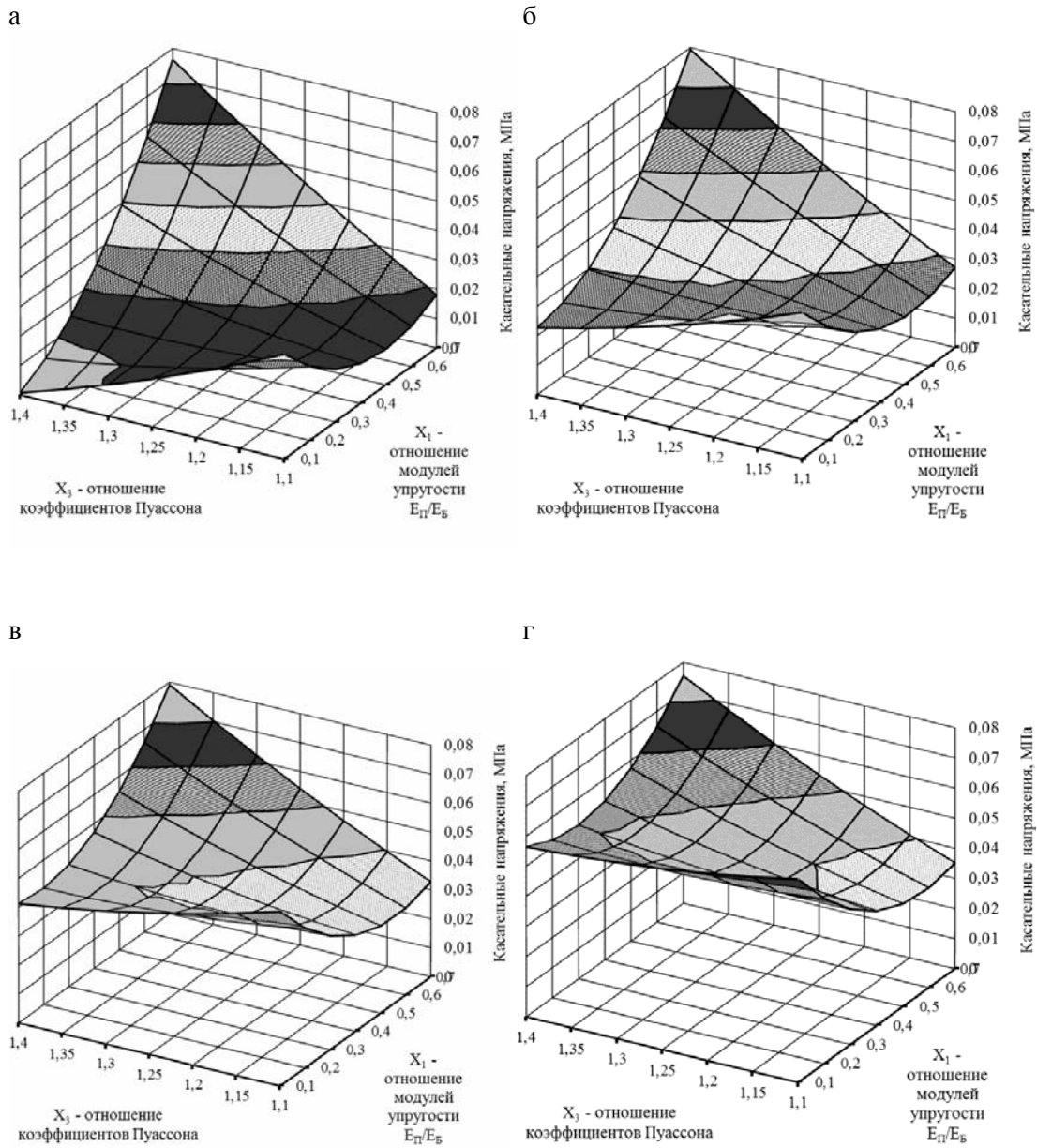


Рис. 2. Изменение нормальных растягивающих напряжений в зависимости от отношений модулей упругости E_{II} / E_B и коэффициентов Пуассона μ_{II} / μ_B полимерного покрытия и бетонного основания при соотношении их высот δ_{II} / H (X_1):
 а – 0,1; б – 0,3; в – 0,5; г – 0,7

Расчет наклонных сечений на поперечную силу может не выполняться, если соблюдается условие

$$Q \leq k_1 \cdot R_{\text{II}} \cdot b \cdot h_o. \quad (7)$$

Расчет по второй группе предельных состояний должен гарантировать конструкцию от деформаций и перемещений, мешающих нормальной эксплуатации сооружения. Экспериментально установлено [5], что в процессе образования и развития трещин в железобетонной конструкции с полимерным покрытием можно выделить три характерные стадии: образование трещин в бетоне; развитие трещин в бетоне; образование трещин в покрытии. С появлением трещин или отслоением покрытия нарушается нормальная эксплуатация слоистой конструкции, так как открывается доступ агрессивной среды к основному железобетонному элементу и арматуре. Поэтому при выборе материалов, используемых в качестве покрытия, необходимо уделить особое внимание предельным состояниям, характеризующим трещиностойкость и долговечность композиций.

Кроме того, нормальная работа железобетонных конструкций с полимерными покрытиями будет осуществляться до тех пор, пока агрессивная среда не проникнет к защищаемому слою вследствие диффузии материала покрытия агрессивной средой. Время насыщения агрессивной средой t покрытия толщиной δ_p выражается уравнением

$$\delta_{\text{II}} = K(\xi) \cdot \sqrt{D \cdot t}, \quad (8)$$

где $K(\xi)$ – коэффициент, зависящий от величины концентрации среды [9]; D – коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$.

Если учесть, что полимерное покрытие обладает высокими значениями трещиностойкости и имеет хорошее сцепление с основным материалом конструкции, то работоспособность полимерного покрытия определяется сроком насыщения агрессивной средой всего полимерного материала.

Следовательно, при расчете конструкций с защитным покрытием по трещиностойкости необходимо выделить следующие предельные состояния:

- растрескивание покрытия;
- отслоение покрытия;
- проникновение агрессивной среды через покрытие к бетону.

Если учесть, что полимерное покрытие обладает высокими значениями трещиностойкости и имеет хорошее сцепление с основным материалом конструкции, то работоспособность полимерного покрытия определяется сроком насыщения агрессивной средой всего полимерного материала. Зная величину коэффициента диффузии полимерного композита, легко найти время полного насыщения агрессивной средой покрытия определенной толщины:

$$t_{\text{II}} = \frac{\delta_{\text{II}}^2}{K(\xi)^2 \cdot D}. \quad (9)$$

Согласно выводам, представленным в работах [5, 9, 20, 23, 24], для расчета долговечности полимерных защитно-декоративных покрытий можно записать три предельных условия:

- по трещиностойкости

$$\sigma_{\text{II}}^{\text{max}} = \varepsilon_{\text{II}}^o \cdot E_{\text{II}} \cdot D(N) \cdot \left[1 - \frac{1}{ch k_2 L} \right] \leq R_{\text{II}} \cdot f(t), \quad (10)$$

где E_{II} и $\varepsilon_{\text{II}}^o$ – модуль упругости и упругая часть приведенной относительной линейной деформации покрытия от усадки, набухания или изменения температуры;

$D(N)$ – деградационная функция, учитывающая изменение свойств полимерного покрытия под действием агрессивных сред; L – половина длины полимерного покрытия; $f(t)$ – функция, описывающая изменение расчетного сопротивления полимерного покрытия в процессе эксплуатации;

- по отслоению покрытия

$$\tau^{\max} = \frac{P}{k_2} \cdot thk_2 L \leq R_{\text{пг}} \cdot \omega, \quad (11)$$

где ω – параметр, зависящий от пористости защищаемой поверхности, $\omega = 1 - \Pi$;

- по скорости насыщения покрытия при действии водных растворов кислот

$$K(\xi) \cdot \sqrt{D \cdot t} \leq \delta_{\text{пг}}. \quad (12)$$

Лишь соблюдение всех трех вышеприведенных условий позволит обеспечить нормальную работу полимерного покрытия для защиты железобетонных конструкций от действия агрессивных сред.

Список литературы

1. Давыдов, С.С. Использование полимеров для улучшения свойств бетона и железобетона / С.С. Давыдов. – М.: Госстройиздат, 1963. – 26 с.
2. Селяев, В.П. Исследование влияния эпоксидных покрытий на трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов: дис. ... канд. техн. наук / В.П. Селяев. – М., 1973. – 146 с.
3. Селяев, В.П. Повышение трещиностойкости железобетона полимерными пленками / В.П. Селяев // Строительные конструкции и строительная механика: в 2 ч. – Саранск, 1977. – Ч. 1. – С. 57–65.
4. Селяев, В.П. Основы теории расчета композиционных конструкций с учетом действия агрессивных сред: дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Селяев. – М., 1983. – 381 с.
5. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
6. Магдеев, У.Х. Монолитные слоистые изделия на основе минеральных и полимерных вяжущих : автореф. дис.... д-ра техн. наук / У.Х. Магдеев. – М., 1987. – 27 с.
7. Магдеев, У.Х. Слоистые защитно-декоративные композиты / У.Х. Магдеев. – М.: ЛИА-ПРЕСС, 1997. – 196 с.
8. Магдеев, У.Х. Защитно-декоративные бетонные покрытия / У.Х. Магдеев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2004. – № 5. – С. 18–20.
9. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.
10. Weiss, V. Spolupusubeni krehkych hmot's laminety / V. Weiss // Stavebnicky casopis. – 1965. – №3. – Р. 27–32.
11. Цискрели, Г.Д. Повышение трещиностойкости бетона путем поверхностного упрочнения / Г.Д. Цискрели, А.В. Лолодзе, А.С. Кубанейшвили // Тезисы докладов VI конференции по бетону и железобетону. – Рига, 1966. – С.17–19.
12. Weiss, V. Thebehaviourofconcretewith reinforced plastics coating / V. Weiss // Symposium RILM. – Paris, 1967. – Р. 49–55.
13. Соломатов, В.И. О влиянии полимерных покрытий на трещиностойкость железобетонных элементов / В.И. Соломатов, Я.И. Швидко // Бетон и железобетон. – 1969. – № 4. – С. 35–36.
14. Красовская, Т.А. Железобетонные балки с полимерным покрытием / Т.А. Красовская // Транспорт. стр.-во. – 1969. – № 4. – С. 47–48.
15. Давыдов, С.С. Защита железобетонных конструкций полимерными покрытиями и слоем полимербетона / С.С. Давыдов, Н.М. Ананьина, Я.И. Швидко // Промышленное строительство. – 1971. – № 9. – С. 32–33.

16. Красовская, Т.А. Испытания железобетонных балок с полимерным покрытием / Т.А. Красовская // Пластобетон в конструкциях транспортного строительства. – М., 1971. – С. 109–115.
17. Селяев, В.П. Исследования железобетонных балок с полимерными покрытиями / В.П. Селяев, Ю.Б. Потапов, Б.М. Люпаев // Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях: мат-лы к Всесоюз. совещанию. – Вильнюс, 1971. – С. 62.
18. Швидко, Я.И. Влияние защитных полимерных покрытий на свойства железобетонных конструкций / Я.И. Швидко // Промышленное строительство. – 1972. – № 5. – С. 33–34.
19. Потапов, Ю.Б. Полимерные покрытия для железобетонных конструкций / Ю.Б. Потапов, В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1973. – 129 с.
20. 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.
21. Селяев, В.П. Эффективные защитные покрытия железобетонных строительных конструкций на основе функционально-градиентных материалов и интегрально-капиллярных систем / В.П. Селяев, Т.А. Низина // Новые научные направления строительного материаловедения: материалы докл. Академ. чтений РААСН. – Белгород, 2005. – С. 127–133.
22. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций / В.П. Селяев, Т.А. Низина, В.Н. Уткина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 48 с.
23. Низина, Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих / Т.А. Низина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 258 с.
24. Полимерные покрытия для бетонных и железобетонных конструкций / В.П. Селяев [и др.]. – Саранск: Изд-во СВМО, 2010. – 224 с.

References

1. Davidov, S.S. The use of polymers to improve the properties of concrete and reinforced concrete / S.S. Davidov. – M.: Gosstroyizdat, 1963. – 26 p.
2. Selyaev, V.P. Investigation of the influence of epoxy coatings on the crack resistance of reinforced concrete bending elements: dis. ... cand. tech. sciences / V.P. Selyaev. – M., 1973. – 146 p.
3. Selyaev, V.P. Increase of crack resistance of reinforced concrete by polymer films // Building structures and construction mechanics: in 2 p. / V.P. Selyaev. – Saransk, 1977. – Part 1. – P. 57–65.
4. Selyaev, V.P. Theoretical bases of composite structures calculation with considering of the aggressive environments effects: dis. ... doct. tech. sciences / V.P. Selyaev. – M., 1983. – 381 p.
5. Solomatov, V.I. Chemical resistance of composite building materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev. – M.: Stroizdat, 1987. – 264 p.
6. Magdeev, U.H. Monolithic layered products based on mineral and polymeric binders: author's abstract. dis. .doc. tech. sciences / U.H. Magdeev. – M., 1987. – 27 p.
7. Magdeev, U.H. Layered protective-decorative composites / U.H. Magdeev. – LIA-PRESS, 1997. – 196 p.
8. Magdeev, U.H. Protective-decorative concrete coverings / U.H. Magdeev // Building materials, equipment, technologies of the XXI century, 2004. – № 5. – P. 18-20.
9. Selyaev, V.P. Polymer concrete / V.P. Selyaev, Y.G. Ivashchenko, T.A. Nizina. – Saransk: Publishing House of Mordovia State University, 2016. – 284 p.
10. Weiss, V. Spolupusubeni krehkych hmot's laminety / V. Weiss // Stavebnicky casopis. – 1965. – №3. – P. 27–32.

11. Tsyskrel'i, G.D. Increase of crack resistance of concrete by surface hardening / G.D. Tsyskrel'i, A.V. Loladze, A.S. Kubaneishvili // Theses of the reports of VI conference on concrete and reinforced concrete. – Riga, 1966. – P.17–19.
12. Weiss, V. The behaviour of concrete with reinforced plastics coating / V. Weiss // Symposium RILM. – Paris, 1967. – P. 49–55.
13. Solomatov, V.I. About influence of polymeric coatings on crack resistance of reinforced concrete elements / V.I. Solomatov, Ya.I. Shvidko // Concrete and reinforced concrete. – 1969. – №. 4. – P. 35–36.
14. Krasovskaya, T.A. Reinforced concrete beams with a polymer coating / T.A. Krasovskaya // Transport construction. – 1969. – №. 4. – P. 47–48.
15. Davidov, S.S. Protection of reinforced concrete structures with polymer coatings and a layer of polymer concrete / S.S. Davidov, N.M. Ananyina, Ya.I. Shvidko // Industrial construction. – 1971. – №. 9. – P. 32–33.
16. Krasovskaya, T.A. Tests of reinforced concrete beams with polymer coating / T.A. Krasovskaya // Plastoconcrete in transport construction designs. – M., 1971. – P. 109–115.
17. Selyaev, V.P. Studies of reinforced concrete beams with polymer coatings / V.P. Selyaev, Yu.B. Potapov, B.M. Lupaev // Application of polymer resins in concrete and reinforced concrete structures: Materials for the All-Union Conference. – Vilnius, 1971. – P. 62.
18. Influence of protective polymeric coatings on the properties of reinforced concrete structures // Industrial construction. – 1972. – №5. – P. 33–34.
19. Potapov, Yu.B. Polymer coating for reinforced concrete structures / Yu.B. Potapov, V.I. Solomatov, V.P. Selyaev. – M.: Stroizdat, 1973. – 129 p.
20. 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.
21. Selyaev, V.P. Effective protective coatings of reinforced concrete building constructions based on functional gradient materials and integral capillary systems / V.P. Selyaev, T.A. Nizina // New scientific directions of building materials science : reports materials of RAACS Academic readings. – Belgorod, 2005. – P. 127–133.
22. 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.
23. Nizina, T.A. Protective and decorative coatings based on epoxy and acrylic resins / T.A. Nizina. – Saransk: Mordovian University Press, 2007. – 258 p.
24. Polymer coatings for concrete and reinforced concrete structures / V.P. Selyaev [etc.]. – Saransk: Publishing house SVMO, 2010. – 224 p.

УДК 692.232.4

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

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

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

ИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПЛИТ МАРОК ПН 12.15.1 И ПН 39.15.1 В НАРУЖНЫХ СТЕНАХ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА

И.С. Гучкин, Н.Н.Ласьков

Рассмотрены результаты применения предварительно напряженных плит перекрытий безопалубочной технологии формования в качестве наружных стеновых панелей в 10-этажном жилом доме. Представлены данные статического и конструкционного расчетов плит; конструктивные изменения с учетом работы плит в наружных стенах; результаты технического обследования плит в составе наружных стен эксплуатируемого здания. Приведены рекомендации по применению плит в стенах многоэтажных жилых домов и выводы.

Ключевые слова: здание, стена, панель, расчет, прочность, обследование, эксплуатация

FROM THE EXPERIENCE OF USING PRESTRESSED SLABS OF BRAND PN 12.15.1 AND PN 39.15.1 IN EXTERNAL WALL PANELS IN A MULTI-STOUREY RESIDENTIAL BUILDING

I.S. Guchkin, N.N. Laskov

The results of application of prestressed slabs made by form-free molding technology as external wall panels in a 10-storey residential building are considered. Static and structural calculations of slabs; structural changes taking into account the work of slabs in external walls; the results of a technical survey of the slabs in the external walls of the maintained building are given. Recommendations on the use of slabs in the walls of multi-storey apartment buildings and some conclusions are presented.

Keywords: building, wall, panel, calculation, strength, inspection, maintenance

Инновации в жилищном строительстве тесно связаны с внедрением в производство новых конструктивных форм и решений. Примером этому служит безопалубочная технология изготовления железобетонных предварительно напряженных плит перекрытия, которая существенно повлияла на их удешевление: отпала необходимость в бортовых элементах, устройстве ямных пропарочных камер, сократился расход арматурной и листовой стали.

Перспективным направлением дальнейшего развития строительства является применение этих плит в стеновом ограждении многоэтажных панельных и каркасных

зданий. В результате можно значительно сократить номенклатуру железобетонных изделий и удешевить строительство здания в целом.

В представленной работе типовой проект предварительно напряженных плит перекрытий откорректирован под наружные стеновые панели применительно к многоэтажным жилым домам Поволжского региона. Одновременно проработаны вопросы по теплоизоляции панелей (в составе стены), несущей способности и трещиностойкости. Особое внимание уделялось узловым сопряжениям панелей, защите от прмерзания и продуваемости.

Проверочные расчеты панелей базируются на материалах проекта 10-этажного жилого дома, представленных ООО ПКФ «Термодом», и нормативных документах [1, 2]. Конструкции стеновых панелей показаны на рис.1.

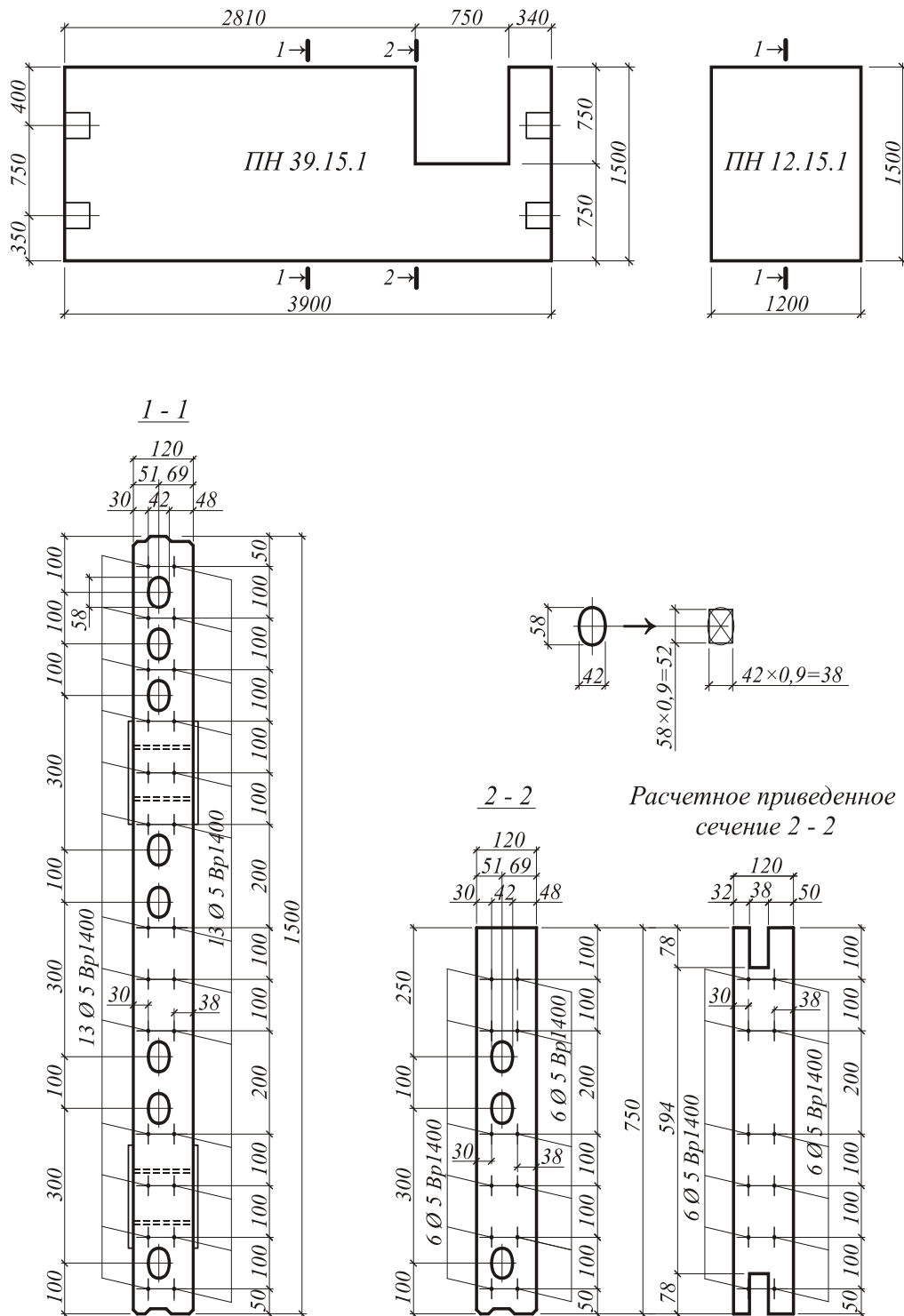


Рис.1. Конструкции стеновых панелей, изготовленных по безопалубочной технологии

Расчету подлежали:

- рядовая стеновая панель максимальной длины 3,9 м марки ПН 39.15.1 на уровне 10-го этажа, ослабленная вырезом под балконную дверь;
- простеночная панель марки ПН 12.15.1 на уровне 1-го этажа.

Стеновые материалы и их характеристики

Панели изготавливаются из тяжелого бетона класса В40 (марка 500) – $R_b \gamma_{bl} = 22 \times 0,9 = 19,8$ МПа; $R_{bn} = 29$ МПа; $R_{bt,n} = 2,1$ МПа; $E_b = 36000$ МПа.

Двойное армирование панелей из высокопрочной напрягаемой проволоки

$2 \times 13 \text{ } \varnothing 5 \text{ Вр1400 (ВрII)}$; $R_s = 1170$ МПа; $R_{sn} = 1400$ МПа; $E_s = 200000$ МПа.

Начальные предварительные напряжения арматуры $\sigma_{sp} = 1000$ МПа. Натяжение производится механическим способом на упоры стенда; расстояние между упорами 80 м; передаточная прочность бетона $R_{bp} = 20$ МПа.

Масса стеновых панелей 274 кг/м^2 .

Утепление стены из минераловатных плит Rockwool Фасад Баттс толщиной 125 мм (плотность 145 кг/м^3); масса утепления $145 \times 0,125 = 18 \text{ кг/м}^2$.

Наружная облицовка – стальные профлисты оцинкованные С8 толщиной 0,5 мм (ГОСТ 24045–94); масса облицовки $5,4 \text{ кг/м}^2$.

Остекление – трехслойные стеклопакеты массой 50 кг/м^2 .

Общая ширина поэтажного остекления стены по оси «А» 18,6 м (при средней ширине одного окна 1,86 м); общая ширина простенков между окнами одного этажа 17,4 м.

Расчетная погонная нагрузка от веса 10-этажной наружной стены – 8 кН/м ; расчетная погонная ветровая нагрузка на уровне 10-го этажа – $1,4 \text{ кН/м}$.

Проверка прочности панели ПН 39.15.1 на отм. +26,42 м на действие ветровой нагрузки в соответствии с рис.2

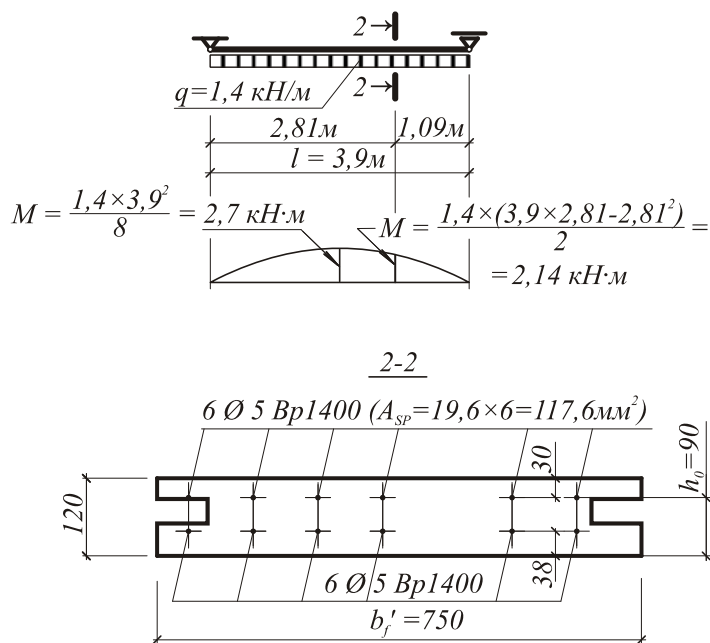


Рис.2. Расчетная схема рядовой панели

Для сечения 2-2 $A_{SP} = 19,6 \times 6 = 117,6 \text{ мм}^2$; $x = \frac{R_s A_{SP}}{R_b b} = \frac{1170 \times 117,6}{22 \times 750} = 8,3 \text{ мм}$;

$$M_{\text{сеч}} = R_s A_{SP} (h_0 - 0,5x) = 1170 \times 117,6 \times (90 - 0,5 \times 8,3) \times 10^{-6} = 11,8 \text{ кН} \cdot \text{м} > M_{2-2} = 2,14 \text{ кН} \cdot \text{м} -$$

прочность обеспечена с большим запасом.

Расчет панели ПН 39.15.1 по образованию трещин на действие ветровой нагрузки в соответствии с рис.3

Определяем геометрические характеристики приведенного к бетону сечения 2 – 2.

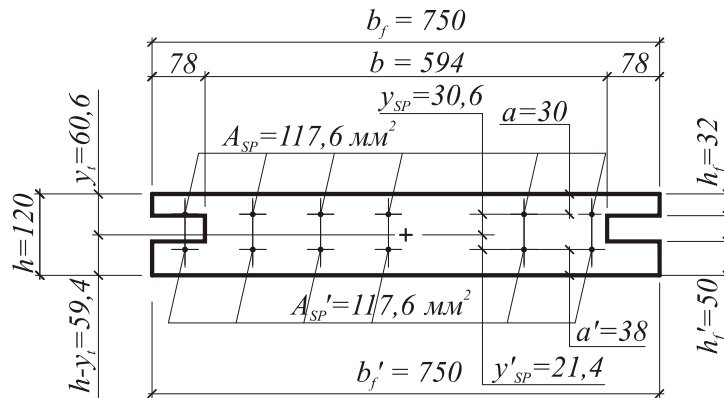


Рис. 3. Расчетное сечение

Площадь приведенного сечения $A_{red} = 854 \text{ см}^2$; статический момент $S_{red} = 5171 \text{ см}^3$; момент инерции $I_{red} = 10769 \text{ см}^4$; расстояние от растянутой грани до центра тяжести сечения $y = 6,06 \text{ см}$; момент сопротивления $W_{red} = 1777 \text{ см}^3$; расстояние от центра тяжести до ядровой точки $r = 2,08 \text{ см}$; напряжения в арматуре с учетом потерь $\sigma_{sp} = 777,6 \text{ МПа}$; усилие обжатия с учетом всех потерь $P = 367 \text{ кН}$; эксцентриситет усилия обжатия $e_{0p} = 0,2 \text{ м}$.

Момент образования трещин

$$M_{crc} = \gamma W_{red} R_{bt,n} + P(e_{0p} + r) = 1,3 \times 1777 \times 10^{-6} \times 2,1 \times 10^3 + 367(0,2 + 20,8) \times 10^{-3} = 4,85 + 7,7 = 12,55 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где $\gamma = 1,3$ [2, табл. 4.1].

Изгибающий момент от нормативной ветровой нагрузки

$$M_n = \frac{M}{\gamma_f} = \frac{2,14}{1,4} = 1,53 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad M_{crc} > M_n; \quad 12,55 > 1,53 \text{ (кН} \cdot \text{м)},$$

следовательно, трещины при действии ветровой нагрузки не образуются.

Расчет прочности на сжатие панели простенка марки ПН 12.15.1, расположенной на отм. +0,92 м, в соответствии с рис.4

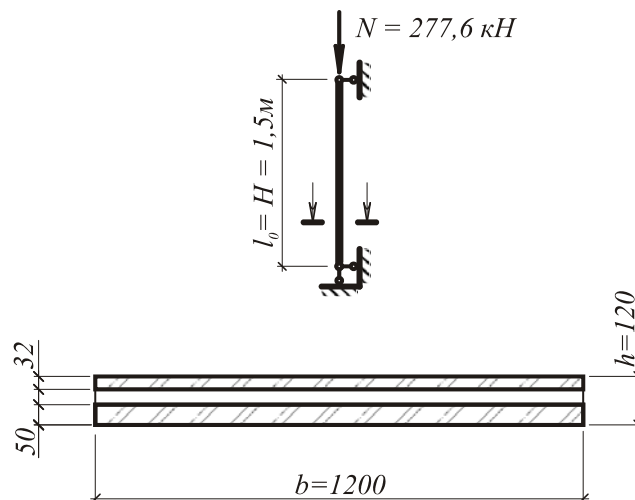


Рис. 4. Расчетная схема простенка

Ширина грузовой полосы для простенка $\frac{3,6+3,34}{2} = 3,47$ м.

Расчетная сжимающая сила $N = 80 \times 3,47 = 277,6$ кН.

Площадь ослабленного пустотой сечения $A_{nt} = (0,032 + 0,05) \times 1,2 = 0,0984$ м².

Условие прочности сечения:

$$N \leq R_b \gamma_{b1} \gamma_{b2} A_b,$$

где $\gamma_{b1} = 0,9$ – коэффициент, учитывающий длительное действие нагрузки; $\gamma_{b2} = 0,9$ – коэффициент условий работы для бетонных конструкций; $A_b = A_{nt} \left(1 - \frac{2e_0\eta}{h}\right)$ – расчетная площадь сечения.

Здесь $e_0 = 1$ см – величина случайного эксцентриситета;

$$\text{коэффициент продольного изгиба } \eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{277,6}{4543}} = \frac{1}{0,939} = 1,06;$$

$$\text{условная критическая сила } N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l_0^2} = \frac{3,14^2 \times 1036,8}{1,5^2} = 4543 \text{ кН};$$

жесткость сечения

$$D = \frac{E_b b h^3}{80\phi_l (0,3 + \delta_e)} = \frac{36000 \times 1,2 \times 0,12^3}{80 \times 2 \times (0,3 + 0,15)} \times 10^3 = 1036,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;$$

$\phi_l = 2$, поскольку вся сжимающая нагрузка является постоянной;

$\delta = \frac{e_0}{h}$, но не менее 0,15; $\delta = \frac{1}{12} = 0,08$ – принимаем $\delta = 0,15$.

$$A_b = 0,0984 \left(1 - \frac{2 \times 0,01 \times 1,06}{0,12}\right) = 0,081 \text{ м}^2;$$

$277,6 \text{ кН} < 22 \times 10^3 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,081 = 1443,4 \text{ кН}$ – прочность сечения достаточная.

Результаты проверочных расчетов предварительно напряженных плит марок ПН 12.15.1 и ПН 39.15.1, используемых, соответственно, в качестве простеночных и рядовых (с вырезом) наружных стеновых панелей 10-этажного жилого дома и расположенных на наиболее ответственных и максимально нагруженных участках стен, показали, что имеется большой запас их прочности и трещиностойкости. Так, например, минимальный недоиспользованный резерв нагрузки по прочности на простеночные панели ПН 12.15.1 составляет 116,6 тс, а трещиностойкость панелей ПН 39.15.1 на действие ветровой нагрузки обеспечивается даже без учета предварительного напряжения. Таким образом, имеется возможность для снижения в панелях класса бетона и расхода арматурной и полосовой стали.

В соответствии с результатами расчета в конструкции панелей были внесены следующие изменения, а именно: снижен класс бетона с В40 до В30; расход предварительно напряженной арматуры сокращен на 19 %, а расход металла на закладные детали – на 80 %.

Панели, изготовленные на заводе ЖБИ строительного холдинга «Термодом», применялись при строительстве 10-этажного жилого дома в с. Засечное, Пензенского р-на, Пензенской области. В процессе строительства в панелях ПН 12.15.1 электромеханическим способом вырезались участки массива под дверной проем размерами 750x750 мм, которые в дальнейшем использовались в дорожном покрытии при устройстве подъездных путей.

Техническим обследованием 10-этажного жилого дома, выполненным после двух лет эксплуатации, не выявлено существенных повреждений и деформаций в панелях и узловых сопряжениях.

В ы в о д

Применение пустотных предварительно напряженных плит марок ПН 12.15.1 и ПН 39.15.1 в качестве наружных стеновых панелей в многоэтажном жилом доме оказывается технически возможным и экономически целесообразным, что подтверждается результатами обследования и конструктивными расчетами.

Список литературы

1. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М., 1985.
2. Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СП 52-102-2004) / НИИЖБ, ОАО «ЦНИИПромзданий». – М., 2005. – 62 с.

References

1. SNiP 2.01.07-85 *. Loads and impacts. – M., 1985.
2. Manual for engineering of prestressed reinforced concrete structures from heavy concrete (to SP 52-102-2004) / NIIZhB, OAO «TSNIIPromzdaniy». – M., 2005. – 62 p.

УДК 624.072

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

Лаврова Ольга Владимировна,
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

Lavrova Olga Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОРОТКИХ БАЛОК НА ОСНОВЕ КАРКАСНО-СТЕРЖНЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

О.В. Лаврова

Проведён анализ существующих методов расчета прочности сжатых и растянутых полос коротких балок. Рассмотрены методы расчета, основанные на стержневых аналоговых моделях, согласно которым прочность балок определяется прочностью сжатых полос бетона, расположенных между грузовыми и опорными площадками, и растянутого арматурного пояса, расположенного между опорными площадками. Основными параметрами, формирующими расчетную модель, являются: угол наклона расчетной полосы; точки, определяющие направление главной оси расчетной полосы; границы, выделяющие сжатую зону. Выявлено влияние поперечной арматуры на прочность сжатых полос бетона. Поперечная арматура в виде горизонтальных или вертикальных хомутов, располагающаяся под углом к сжатой полосе бетона, выполняет две функции – косвенно и прямо участвует в работе сжатой полосы.

Ключевые слова: короткая балка, прочность, каркасно-стержневая модель, опорные и грузовые площадки, сжатые наклонные полосы бетона, растянутый арматурный пояс

STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ON THE BASIS OF FRAME-ROD MODELS

O.V. Lavrova

The analysis of existing methods for calculating the strength of compressed and stretched strips of short beams is carried out. Calculation methods based on rod analog models are considered, according to which the strength of the beams is determined by the strength of the compressed concrete strips located between the load and support platforms and the stretched reinforcement belt located between the support platforms. The main parameters forming the calculation model are: the slope angle of the calculated band; points determining the direction of the main axis of the calculation band; the boundaries that define the compressed zone. The influence of shear reinforcement on the strength of compressed concrete strips was revealed. The transverse reinforcement in the form of horizontal or vertical clamps located at an angle to the compressed concrete strip performs two functions – carrying out indirect and direct participation in the work of the compressed strip.

Keywords: short beam, strength, frame-rod model, supporting and cargo areas, compressed inclined concrete strips, stretched reinforcement belt

Короткие балки широко применяются в строительстве в качестве несущих железобетонных конструкций, а именно в качестве основных конструктивных элементов железобетонных колонн в виде перемычек над проходами в надкрановой части колонн одноэтажных промышленных зданий и подкрановых ригелей двухветвевых колонн одноэтажных промышленных зданий и эстакад.

Перекрышки и подкрановые ригели являются тяжелонагруженными и весьма ответственными элементами железобетонных колонн. На их армирование затрачивается до 50 % арматуры от общего расхода на колонну.

В нормативной литературе не содержится рекомендаций по расчету указанных конструкций, поэтому их расчет ведется по аналогии с расчетом обычных балок. При этом растянутая арматура определяется в нормальном сечении по изгибающему моменту, а при расчете на поперечную силу используются эмпирические зависимости. Поперечная арматура принимается по конструктивным требованиям, как правило, в избыточном количестве. В результате перекрышки и подкрановые ригели колонн являются переармированными. Это приводит к нерациональному использованию арматуры, удорожанию технологии изготовления и снижению качества изделий.

Ниже определяются пути совершенствования метода расчета и проектирования перекрышек и подкрановых ригелей колонн на основе коротких балок, работа которых в значительной степени отличается от работы обычных балок.

Работа коротких балок и их разновидностей условно представляется как каркасно-стержневая модель, согласно которой прочность короткой балки определяется прочностью сжатых наклонных полос бетона и растянутого арматурного пояса. Основными параметрами, формирующими расчетную модель, являются угол наклона расчетной полосы; точки, определяющие направление главной оси расчетной полосы, и границы, выделяющие сжатую зону. Точки, определяющие направление оси наклонной полосы поверху, приближенно находятся на пересечении равнодействующих внешних сил, расположенных в центре половинок опорных площадок, с основными направлениями главных сжимающих напряжений на уровне верхней грани балки. Узловые точки понизу определяются пересечением опорной реакции с осью растянутой арматуры. Линия, соединяющая таким образом определенные точки по высоте балки, является осью наклонной сжатой полосы. Линия, соединяющая точки пересечения усилий по длине балки, является осью растянутого арматурного пояса. Формируются наклонные сжатые полосы бетона между симметричными половинами грузовой и соответствующими опорными площадками, в результате образуются границы сжатых наклонных зон. Ширина расчетной полосы определяется по перпендикуляру между внешней и внутренней границами полосы (см. рисунок).

Расчетные условия прочности по сжатой полосе и растянутой зоне определяются в виде:

$$F \leq 2 \varphi_{w2} \varphi_{b1} \varphi_b \check{R}_b \ell_b \sin \alpha, \quad (1)$$

$$F \leq 2 \varphi_s \check{R}_s A_s \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Ширина расчетной полосы поверху и понизу находится в зависимости от размеров грузовой и опорной площадок и может определяться по формулам:

$$\ell_b^v = 0,5 b \ell_{sup}^v \sin \alpha, \quad (3)$$

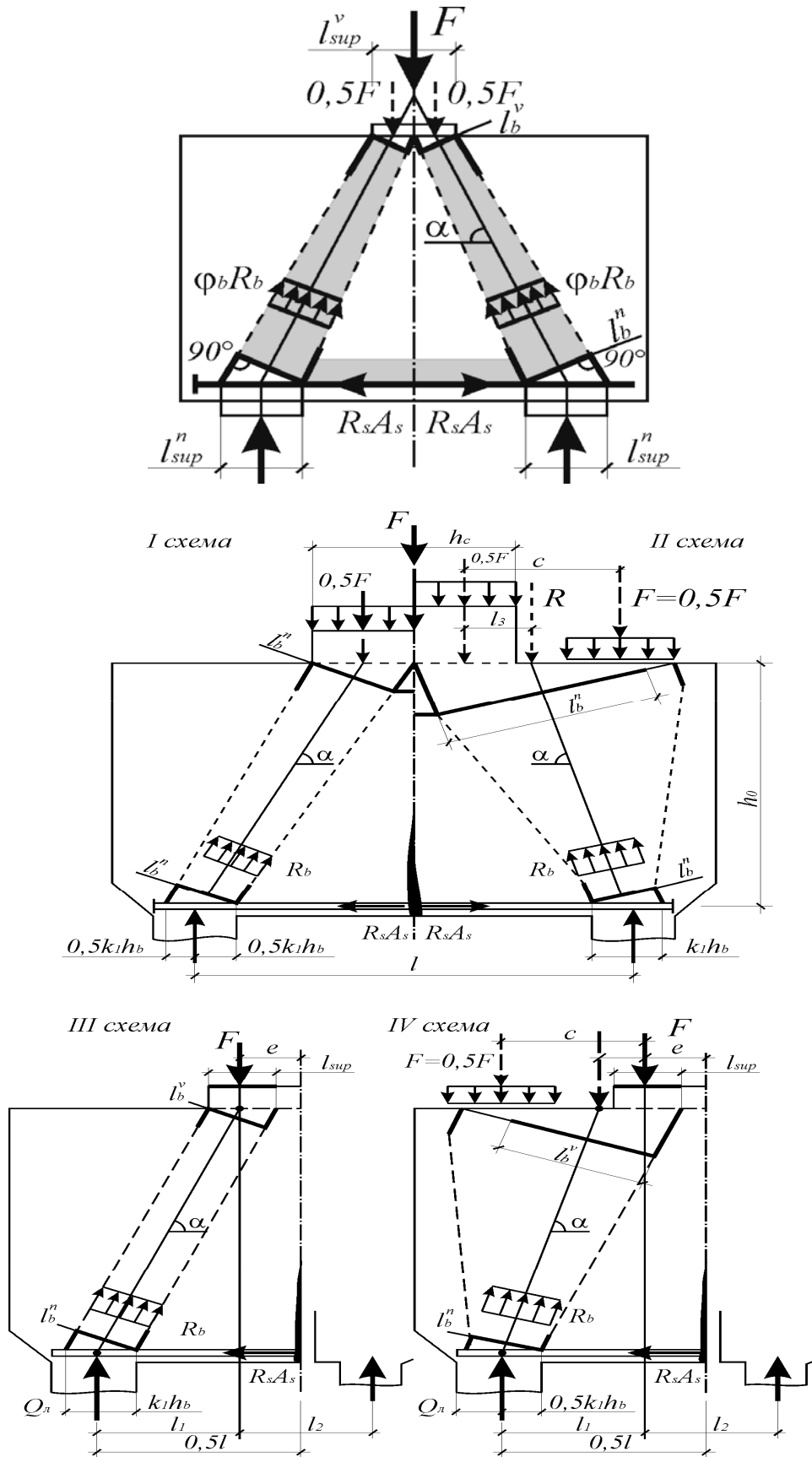
$$\ell_b^n = \kappa_1 \ell_{sup}^n \sin \alpha. \quad (4)$$

Угол наклона оси наклонной сжатой полосы

$$\operatorname{tg} \alpha = h_0 / a. \quad (5)$$

Предельное состояние по сжатой полосе наступает, когда сжимающие напряжения достигают предельных значений ($\varphi_b \check{R}_b$), по растянутой зоне – при достижении растягивающими напряжениями предела прочности (\check{R}_s).

Оказалось, что с ростом размеров грузовых площадок возрастает несущая способность сжатой зоны коротких балок. Предлагаемая расчетная схема учитывает такое положение за счет увеличения угла наклона сжимающих напряжений и расчетной ширины наклонной полосы, что соответствует физическому процессу, установленному опытами. Соотношение величин опытной и расчетной несущей способности составляет 1,06.



Расчетные схемы коротких балок при различных схемах нагружения

При изменении схемы нагружений коротких балок от сосредоточенно приложенной силы до равномерно распределенной нагрузки распределение сжимающих напряжений у опорной площадки изменяется от эпюры, близкой к треугольному очертанию (большее напряжение приближается к внутренней грани опорной площадки), до эпюры равномерной, близкой к прямоугольному очертанию. Неравномерное распределение напряжений предлагается учитывать, уменьшая расчетную ширину сжатой полосы с помощью коэффициента, определяемого по формуле

$$k_1 = 0,5 \ell_{sup}^v / \ell_1 + 0,65. \quad (6)$$

Расчетные наклонные полосы окружены массивом бетона, размеры которого определяются размерами грузовых и опорных площадок, а также габаритами балок. В опытах установлено повышение несущей способности по сжатой полосе бетона коротких балок при увеличении массива бетона. Это объясняется препятствием бетона, окружающего расчетную полосу, развитию в ней поперечных деформаций, что приводит к повышению прочности бетона. Предлагается увеличение предельного сопротивления бетона сжатию учитывать коэффициентом φ_b , определяемым по формуле

$$\varphi_b = (\varphi_b^v + \varphi_b^n) / 2 \quad (7)$$

Принимая во внимание, что размеры бетонного массива с внешней и внутренней граней расчетной полосы различны, величины φ_b^v и φ_b^n определяем в соответствии с подходом, принятым в нормативной литературе.

В случае больших опорных площадок (ℓ_{sup}^v / ℓ_1 близко к единице) и в случаях нагружения коротких балок, показанных на рисунке, схемы II, IV, что характерно для перемычек и подкрановых ригелей, следует φ_b принимать равным единице.

Сопоставление результатов расчета с опытами показывает хорошее приближение к опыту, соотношение величин опытной и расчетной несущей способности составляет 1,1.

Представляется возможным оценить влияние поперечной арматуры на несущую способность сжатой наклонной полосы. Степень влияния зависит от количества, вида и ориентации арматуры относительно оси сжатой полосы бетона. В каждом случае несущая способность сжатого бетона увеличивалась.

Учитывать влияние поперечной арматуры можно эмпирическим путем, вводя коэффициент φ_{w2} в условия (1):

$$\varphi_{w2} = 1 + 5 \alpha (\mu_{sw,g} + \mu_{sw,v}), \quad (8)$$

где $\alpha = E_s / E_b$; $\mu_{sw,g} = A_{sw,g} / b S_g$; $\mu_{sw,v} = A_{sw,v} / b S_v$.

Соотношение опытных и расчетных величин разрушающей нагрузки составляет в среднем 1,2 раза, то есть работа поперечной арматуры учитывается недостаточно точно.

Исследования показали, что поперечная арматура, располагающаяся в пределах наклонной сжатой зоны, препятствует развитию поперечных деформаций и тем самым косвенно участвует в работе сжатой полосы. С другой стороны, она оказывает сопротивление и развитию деформаций укорочения вдоль наклонной полосы и тем самым принимает прямое участие в работе сжатого бетона. Таким образом, поперечная арматура в виде горизонтальных или вертикальных хомутов, располагающаяся под углом к сжатой полосе бетона, выполняет две функции – косвенно и прямо участвует в работе сжатой полосы. Степень того или другого вида работы зависит от величины проекций усилий в арматуре на поперечную и продольную оси сжатой полосы. Усилие, воспринимаемое поперечной арматурой, можно подсчитать по формуле

$$F_s = 2(T_{sw} + N_{sw}) \sin \alpha, \quad (9)$$

где T_{sw} и N_{sw} – усилия в арматуре соответственно при прямом и косвенном участии в работе сжатого подкоса,

$$T_{sw} = \varphi_s \varphi_{sw} \mu_{sw} R_s b l_b \sin \theta, \quad (10)$$

$$N_{sw} = \varphi_s \mu_{sw} R_s b l_b \cos \theta; \quad (11)$$

здесь φ_{sw} – коэффициент косвенного армирования, определяется по СНиП 2.01.03-84; $\varphi_s=0,8$ – опытный коэффициент; θ – угол между направлением соответствующего вида арматуры и осью наклонной полосы бетона.

Таким образом, прочность наклонной сжатой полосы бетона с учетом работы поперечной арматуры находится по формуле

$$F \leq 2\varphi_{b1} \varphi_b \check{R}_b \ell_b \sin \alpha + F_s. \quad (12)$$

При таком подходе к оценке работы поперечной арматуры можно определять оптимальный в каждом случае вид поперечной арматуры в коротких балках. Соотношение опытной и расчетной величин разрушающей нагрузки составило 1,09.

Увеличение высоты коротких балок повышает несущую способность по сжатой зоне. Это влияние в расчетной схеме учитывается увеличением угла наклона сжатой полосы бетона.

Влияние сварных сеток в зоне передачи нагрузки на рост несущей способности короткой балки условно можно учесть коэффициентом k_2 . Значение этого коэффициента приближенное находим из соотношения длины опорной площадки, определенной из условия смятия, и действительной ее длины.

При несимметричном расположении грузовой площадки, что соответствует действительной работе подкрановых ригелей, целесообразно расчетную схему строить, не нарушая принципа, принятого при построении схемы для центрально-нагруженных балок. В этом случае точки, определяющие направление осей сжатых наклонных полос бетона, находим следующим образом. Нижние узловые точки определяются по аналогии со случаем центрального приложения нагрузки. Верхние точки образуются на пересечении равнодействующих внешних сил на уровне верхней грани балки справа и слева от линии действия силы с линией действия главных сжимающих напряжений. Ширина опорной площадки поверху со стороны действия эксцентриситета условно может определяться по перпендикуляру между границами расчетной полосы. Границами расчетной полосы являются линии, проведенные параллельно оси наклонной полосы из точек, образуемых справа на пересечении линии, проходящей через центр половины площадки опирания силы, с верхней гранью балки, слева путем отложения образовавшегося участка симметрично точке пересечения оси полосы с верхней гранью.

Ширина расчетной полосы поверху с противоположной действию эксцентриситета стороны определяется аналогично. Такое решение объясняется тем, что в рассмотренной схеме нагружения, характерной для подкрановых ригелей, наблюдается неравномерность эпюры напряжений под грузовыми площадками, вызванная наличием расстояния между грузами и различными величинами этих нагрузок. При этом ширина расчетной полосы понизу будет определяющей при расчете несущей способности короткой балки. Анализ результатов расчета коротких балок и их разновидностей показал, что максимальное значение соотношения опытной и расчетной разрушающей силы составляет 1,14 – по сжатой зоне и 1,2 – по растянутой зоне; минимальное значение соотношения составляет 1,0 – по сжатой зоне; 1,02 – по растянутой зоне.

На основании предлагаемого метода расчета были разработаны и испытаны с точки зрения использования арматуры виды армирования и облегчения конструктивной формы перемычек и подкрановых ригелей с устройством отверстия треугольного очертания. Опыты показали эффективность устройства отогнутой вдоль сжатой полосы арматуры ветвей колонны. При этом повышается эффективность арматуры в работе сжатой полосы за счет ее прямого участия в работе.

Рациональным является применение спирали с переменным по высоте шагом, при этом наиболее снижается расход арматуры.

Использование предлагаемого метода расчета и рационального армирования перемычек и подкрановых ригелей дает значительный экономический эффект. При проектировании колонн промышленных зданий с крановыми нагрузками расход арматуры на перемычки снижается до 50 %; бетона – на 50 %; расход арматуры на подкрановые ригели сокращается на 60 %, бетона – на 20 %.

ВЫВОДЫ

Установлено:

- разрушение бетона в короткой балке происходит в сжатых полосах бетона между опорной и грузовой площадками; прочность бетона в сжатых полосах короткой балки определяется действием главных сжимающих напряжений;
- с ростом размеров грузовых площадок возрастает несущая способность сжатой зоны коротких балок;
- повышение несущей способности по сжатой полосе бетона коротких балок при увеличении массива бетона, окружающего сжатую бетонную полосу (объясняется препятствием бетона, окружающего расчетную полосу, развитию в ней поперечных деформаций, что приводит к увеличению прочности бетона);
- степень влияния поперечной арматуры на несущую способность сжатой наклонной полосы зависит от количества, вида и ориентации арматуры относительно оси сжатой полосы бетона (несущая способность сжатого бетона увеличивается);
- поперечная арматура, располагающаяся в пределах наклонной сжатой полосы бетона, препятствует развитию поперечных деформаций и тем самым косвенно участвует в работе сжатой полосы; с другой стороны, она оказывает сопротивление и развитию деформаций укорочения вдоль наклонной полосы и тем самым принимает прямое участие в работе сжатого бетона.

Список литературы

1. Лаврова, О.В. Закономерность изменения усилий образования трещин и разрушающих усилий при увеличении пролета среза, длины опорных и грузовых площадок / О.В. Лаврова, А.Д. Маслов, А.С. Клейменов // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб. / XVI Международ. науч.-техн. конф. – 2016. – С.91–96.
2. СНиП 52-01–2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: НИИЖБ Госстроя России, 2004. – 24с.
3. СП 52-101–2003. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М., 2004. – 55 с.
4. Баранова, Т.И. Каркасно-стержневые расчетные модели и инженерные методы расчета железобетонных конструкций / Т.И. Баранова, А.С. Залесов. – М.: АСВ, 2003. – 238 с.

References

1. Lavrova, O.V. Regularity of the change in the forces of crack formation and destructive forces with increasing shear span, length of support and cargo areas / O.V. Lavrova, A.D. Maslov, A.S. Kleimenov // Effective Building Constructions: Theory and Practice / XVI International Scientific and Technical Conference. – 2016. – P.91–96.
2. SNiP 52-01–2003. Concrete and reinforced Concrete structures. The main provisions. – М.: NIIZHB of Gosstroy of Russia, 2004. – 24 p.
3. SP 52-101–2003. A set of rules for design and construction. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing. – М., 2004. – 55 p.
4. Baranova, T.I. Frame-and-rod design model and engineering methods of calculation of reinforced concrete structures / T.I. Baranova, A.S. Zalesov. – М.: ASV, 2003. – 238 p.

УДК [72+69] : 620.91 – 049.35

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Береговой Александр Маркович,**
доктор технических наук,
профессор кафедры «Городское
строительство и архитектура»
E-mail: ambereg@rambler.ru**Береговой Виталий Александрович,**
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: vabereg@rambler.ru**Гречишкин Александр Викторович,**
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Городское строительство
и архитектура»
E-mail: grechishkin@mail.ru**Воскресенский Алексей Валентинович,**
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Городское строительство
и архитектура»
E-mail: voskresenckij.aleksei@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**Beregovoy Aleksandr Markovich,**
Doctor of Sciences,
Professor of the department «Urban
construction and Architecture»
E-mail: ambereg@rambler.ru**Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich,**
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of building materials
and wood processing»
E-mail: vabereg@rambler.ru**Grechishkin Alexandr Victorovich,**
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the department «Urban construction
and Architecture»
E-mail: grechishkin@mail.ru**Voskresenskiy Aleksey Valentinovich,**
Candidate of Sciences, Associate
Professor of the department «Urban
construction and Architecture»
E-mail: voskresenckij.aleksei@yandex.ru

ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Гречишкин, А.В. Воскресенский

Исследованы параметры теплообмена через наружные ограждающие конструкции, имеющие разную величину сопротивления воздухопроницанию. По результатам моделирования дана оценка величине уходящего теплового потока как в процессе эксфильтрации и инфильтрации воздуха через пористую структуру наружного ограждения, так и при его циркуляции в воздушной прослойке конструкции, отделенной экраном от внутренней воздушной среды.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, теплообмен, воздухопроницание, эксфильтрация воздуха, инфильтрация воздуха, тепловые потери

THE ENCLOSURE STRUCTURES WITH ADJUSTABLE PARAMETERS OF HEAT AND MASS TRANSFER

A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, A.V. Grechishkin., A.V. Voskresenskiy

The parameters of heat and mass transfer through the external enclosure structures having a different amount of resistance to air permeability were investigated. Based on the results of computational modeling, the value of the outgoing heat flux is estimated both during the process of air filtration and infiltration through the porous structure of the external enclosure and during its circulation in the air layer of the structure separated by a shield from the internal air medium.

Keywords: enclosure structures, heat and mass transfer, air permeability, exfiltration of air, infiltration of air, heat loss

При разработке проекта энергоэффективного здания специалисты решают комплекс сложных вопросов по минимизации его энергетической потребности и обеспечению комфортного микроклимата помещений. Особое внимание при этом уделяется дальнейшему углублению знаний по тепломассопереносу в наружных ограждающих конструкциях, отделяющих воздушную среду помещений от атмосферных воздействий.

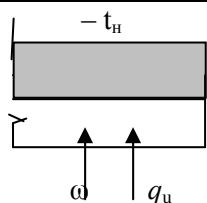
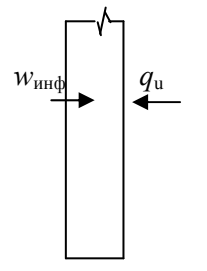
В практике проектирования широкое распространение получили многослойные ограждения с плотными наружными слоями и средним теплоизоляционным слоем из вспученной пластмассы, а также однослойные из автоклавного пенобетона – конструкции, не способствующие беспрепятственному протеканию процессов массопереноса в виде эксфильтрации и инфильтрации воздуха. Их капиллярно-пористая структура с преобладанием замкнутых воздушных ячеек характеризуется небольшим коэффициентом воздухопроницаемости, а конструкции из этих материалов – большим сопротивлением воздухопроницанию, $R_{и}$, м²·ч·Па/кг.

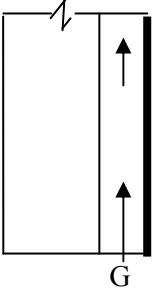
Эти признаки, как правило, не характерны для однослойных наружных ограждений, выполненных из легких бетонов небольшой плотности, а также из кирпичной кладки с пористыми кладочным раствором и штукатуркой. Так, например, для следующих конструктивных слоев величина R при толщине δ и плотности γ , кг/м³, составляет: керамзитобетонная панель $\delta = 25 - 40$ см, $\gamma=1000$ и 1100-1300 соответственно $R=53-80$ и 390-590, кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 25$ см и более, $\gamma=1700$, $R = 18$ [1].

Данные конструкции с упорядоченной капиллярно-пористой структурой представляют собой, по сути, «дышащие» структуры, способствующие улучшению микроклимата помещений. В отличие от них такая конструкция стены из материала большой плотности, как панель из сплошного бесшовного бетона с плотностью 2000 и более, имеет $R = 20\ 000$.

По результатам моделирования (см. таблицу) дана оценка величине уходящего теплового потока в процессе эксфильтрации и инфильтрации воздуха через пористую структуру наружного ограждения, а также при его циркуляции в воздушной прослойке конструкции, отделенной экраном от внутренней воздушной среды [2-4].

Функции энергосбережения в архитектурно-строительном проектировании

Тепломассоперенос через ограждение	Функция энергосбережения	Описание функции
1	2	3
Регулирование тепловых потоков при тепломассопереносе		
	Тепловой поток q_u при эксфильтрации воздуха ω через ограждение	$q_u = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_b \cdot w \cdot R}}{e^{c_b \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n)$ $\omega = \Delta p / R_{и}$ $R_{и} = R_{и1} + R_{и2} + \dots + R_{ин}$
	Утилизация тепла уходящего воздуха при инфильтрации за счет экономайзерного эффекта	$q_u = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_b \cdot w \cdot R}}{e^{c_b \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n)$ $\Delta P = -0,8 \cdot \left[-g \cdot (\gamma_n - \gamma_b) \cdot H - 0,6 \frac{(0,6 \cdot v)^2 \cdot \gamma_n}{2} \right]$ $w_{инф} = \Delta P / \sum R_{и}$ $\Delta Q_{вент} = 0,28 \cdot \Delta w_{вент} \cdot \gamma_n \cdot c_b \cdot (t_b - t_n)$

1	2	3
	Утилизация тепла с помощью вентилируемой воздушной прослойки	$t_x = t_c - (t_c - t_n) \cdot e^{-Ax}, \alpha_k = 3,25 \cdot \delta_{пр}^{-0,2} \cdot v_{пр}^{0,8},$ $G = v_{пр} \cdot \rho \cdot \delta_{пр} \cdot \delta_{пр}^I,$

Как известно, движение воздуха через наружную оболочку здания и в его помещениях обусловлено гравитационным и ветровым давлением. С учетом сложностей, связанных с расчетом и прогнозированием воздействия этих видов природной энергии на здание, в расчетных моделях принят ряд допущений, учитывающих: наличие небольшого количества жидкой влаги в капиллярно-пористой структуре и равенство температур материала и инфильтрующегося воздуха. При этом принятая в расчетах скорость ветра v , м/с, составляет: для процесса эксфильтрации $v = 0$, а для процесса инфильтрации $v = 5,6$.

Согласно эпюре гравитационного избыточного давления в верхней части здания внутреннее давление больше внешнего, что обуславливает выход теплого воздуха в атмосферу (эксфильтрацию), а значит, и теплопотери как через наружные ограждения, так и через вытяжные отверстия. В нижней части здания внутреннее давление меньше внешнего. Согласно общепринятой методике расчета теплового баланса этой конструкции инфильтрующийся через ограждение воздух обуславливает дополнительные теплопотери здания в холодное время года.

В разработанных моделях основным теплофизическим критерием конструкции по оптимизации процесса эксфильтрации, влияющего на тепловые потери, является сопротивление воздухопроницанию ограждения R , непосредственно связанное с особенностями поровой структуры материала и толщиной конструктивных слоев.

По более сложной модели представлен процесс инфильтрации: он рассмотрен в системе «наружное ограждение – естественная вентиляция здания» и учитывает тепловой обмен между потоками тепла, уходящего через ограждение, и встречного инфильтрационного воздуха, с одной стороны, а с другой стороны – между объемами воздуха, поступившими в помещение с внутренней поверхности ограждения w и через приточные отверстия $w_{вент}$.

В процессе теплообмена внутри массива ограждения расчетными при определении теплопотерь являются температура τ_b на его внутренней поверхности и тепловой поток q_u , входящий в конструкцию из помещения:

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

$$q_u = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_b \cdot w \cdot R}}{e^{c_b \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n). \quad (2)$$

Эффект энергосбережения при использовании данной модели заключается в том, что подогретый при инфильтрации в результате экономайзерного эффекта воздух уменьшает необходимое количество наружного воздуха в системе вентиляции здания на величину $\Delta w_{вент}$ и количество тепла ΔQ на его подогрев:

$$\Delta Q_{вент} = 0,28 \cdot \Delta w_{вент} \cdot \gamma_n \cdot c_b \cdot (t_b - t_n). \quad (3)$$

Если одним из важных условий возникновения экономайзерного эффекта является небольшое значение показателя $R_{и}$ конструкции ограждения, то эффект энергосбережения в помещениях здания можно определить только при условии контролируемого объема вентиляционного воздуха через приточные отверстия. Такой подход осуществим в проектных решениях «умного» здания с автоматически контролируемыми и регулируемыми параметрами микроклимата или в здании традиционного типа со стеновыми вентиляционными клапанами, имеющими регулировочную крышку со стороны помещения. Но поскольку даже через относительно герметичные стыковые соединения оконных и стеновых элементов инфильтруется определенное количество воздуха, трудно поддающееся точному учету, то по этой причине данная расчетная модель может дать только приближенную оценку энергосберегающему эффекту.

В верхней части здания из-за большей величины внутреннего гравитационного давления по сравнению с внешним при отсутствии сильного ветрового воздействия потоки тепла и эксфильтрующегося воздуха поступают из помещения к ограждению в одном направлении. Это сказывается на росте теплопотерь, особенно при использовании наружных ограждающих конструкций с пониженным значением показателя $R_{и}$, которые, по данным натурных обследований зданий в г. Пензе, были выявлены в малоэтажных давно эксплуатируемых домах – типовой застройке первого индустриального периода строительства.

Для оценки теплопотерь при эксфильтрации воздуха в целях термомодернизации этих зданий была разработана расчетная модель, показывающая зависимость

$$q_u = (w, R_{и}, \Delta P),$$

где q_u – тепловой поток, входящий в наружное ограждение при эксфильтрации; w – объем эксфильтрующегося воздуха; ΔP – разница давлений воздуха по обе стороны ограждения или по высоте здания.

При небольших значениях показателя $R_{и}$ наружного ограждения тепловые потери G через него могут быть в несколько раз больше тех, которые определяются по общепринятой методике. Так, например, в двухэтажном здании для деревянной конструкции чердачного перекрытия с засыпным утеплителем и поврежденным пароизоляционным слоем отношение $G_{расч} / G_{норм}$ может составить 3,5. Такое сильное ухудшение теплового режима помещений верхнего этажа подтверждается проведенными инструментальными замерами параметров микроклимата зданий, построенных по данной конструктивной схеме.

В третьей расчетной схеме по утилизации тепла движение воздуха осуществляется не через пористую структуру ограждающей конструкции, а по вертикальной воздушной прослойке, сообщающейся с наружным воздухом и выходящей в помещение. В отличие от известных аналогов прослойка отделена от внутреннего воздуха тонкостенным экраном. Это позволяет повысить эффект утилизации тепла. С учетом принятых допущений и при температуре наружного воздуха $+1^{\circ}\text{C}$ температура выходящего в помещение воздуха составила для верхних этажей 8-этажного и 9-этажного зданий ($H_{эт} = 3$ м) соответственно $+12,5$ и $+13,3^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, в стадии проектирования конструктивной концепции наружного ограждения по высоте здания регулирование расчетных сопротивлений теплопередаче R , R_0 и сопротивления воздухопроницанию $R_{и}$ конструкции может вызвать:

- возникновение в пределах нижних этажей в ограждениях экономайзерного эффекта, который обеспечит утилизацию части уходящего теплового потока при его теплообмене с инфильтрующимся потоком воздуха;
- снижение в пределах верхних этажей дополнительных теплопотерь через наружные ограждения, которые, как показывают результаты расчета, появляются при небольших значениях показателя $R_{и}$ конструкции.

Устройство предложенного выше вида вертикальной воздушной прослойки в наружной стене позволяет утилизировать долю тепла уходящего воздуха, величина которой достигает максимальных значений в верхней части здания.

Список литературы

1. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 95 с.
2. Оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через пористую структуру материала ограждения / А.М. Береговой, М.А. Дерина, В.А. Береговой, А.В. Мальцев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С. 79–83.
3. 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.
4. Наружное ограждение, утилизирующее тепло уходящего воздуха из помещения / А.В. Мальцев, А.М. Береговой, В.А. Береговой, М.А. Дерина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 123–127.

References

1. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Actualized edition of SNiP 23-02-2003. – М.: NIISF RAASN, 2012. – 95 p.
2. Evaluation of heat losses during exfiltration of air through the porous structure of the material of the enclosure structure / A. M. Beregovoy, M. A. Derina, B. A. Beregovoy, A.V. Maltsev // Regional architecture and engineering. – 2014. – No.2. – P. 79–83.
3. 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.
4. Enclosure structures utilizing removed room air heat / A.V Maltsev, A.M. Beregovoy, V. A. Beregovoy, M.A. Derina // Regional architecture and engineering. – 2014. – No.1. – P. 123–127.

УДК 721:699.86:692.23:697.9

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

Дерина Мария Александровна,
кандидат технических наук,
старший преподаватель 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

Derina Maria Alecsandrovna,
Candidate of Sciences, Senior lecturer
of the department «Urban construction and
Architecture»
E-mail: gsia@pguas.ru

НАВЕСНОЙ ФАСАД С ВЕНТИЛИРУЕМЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

М.А. Дерина

Рассматриваются вопросы энергосбережения в зданиях с использованием навесного фасада с вентилируемым воздушным зазором. Рассчитывается энергосберегающий эффект от использования вентилируемых фасадов и выявляются характеристики, от которых он зависит. Приводятся результаты расчета сроков окупаемости различных конструкций фасадов с вентилируемым воздушным зазором.

Ключевые слова: жилые и общественные здания, навесной фасад с воздушным зазором, тепловые потери, тепловая защита, экономическое обоснование, энергетическая эффективность

HINGED FACADE WITH A VENTILATED AIR GAP AS A MEANS OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE BUILDING

M.A. Derina

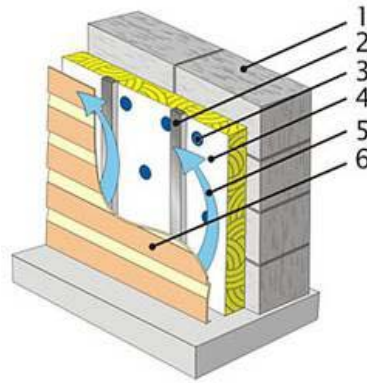
Energy saving in buildings with the use of a hinged facade with a ventilated air gap is considered. Energy saving effect of the use of ventilated facades gap is considered and the features on which it depends are identified. The results of calculations of payback periods of the different designs of the facades with ventilated air gap are given.

Keywords: residential and public buildings, curtain wall with an air gap, heat losses, thermal protection, economic feasibility, energy efficiency

В настоящее время широкое распространение в строительстве получили навесные фасады. Технология навесного фасада позволяет существенно улучшить энергосберегающие характеристики здания, но при этом необходимо установить основные факторы, которые влияют на повышение энергетической эффективности стен зданий.

Главным отличием вентилируемого фасада от других типов фасадных систем является наличие зазора между несущей стеной и облицовочным материалом. За счет происходящей в этом зазоре циркуляции воздуха происходит удаление влажного конденсата из системы [5].

Традиционно навесной вентилируемый фасад состоит из облицовочного материала, вспомогательной под облицовочной конструкции, слоя теплоизоляции, направляющих и крепежных элементов (см. рисунок). Основной целью использования фасадов с вентилируемым воздушным зазором является повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий до уровня нормативных требований.



Конструкция фасада с вентилируемым воздушным зазором:

1 – несущая стена; 2 – вертикальные направляющие; 3 – крепежный элемент;
4 – плиты теплоизоляции; 5 – вентилируемый воздушный зазор; 6 – облицовочный слой

Кроме очевидных преимуществ использования таких систем во время эксплуатации здания (защита внешних стен от сырости, повышение уровня благоприятного микроклимата, обеспечение звукоизоляции и эффективной теплозащиты стен, легкость монтажа и демонтажа, многообразие дизайнерских решений, долговечность), существуют некоторые факторы, которые влияют на эффект энергосбережения при использовании таких фасадов.

Если предусмотреть монтаж вентилируемого фасада на стадии проекта, то можно уменьшить толщину внешних стен здания и, как следствие, увеличить полезную площадь помещения. Поэтому использование навесных фасадов актуально не только при реконструкции зданий с целью повышения их тепловой защиты, но и при новом строительстве.

Общепринятой в России основной характеристикой теплозащиты ограждающих конструкций здания является приведенное сопротивление теплопередаче R_0^{np} . На стадии проектирования эта характеристика является расчетной и определяется по СНиП II-3-79* [4].

Чтобы максимально учесть процессы теплопередачи, происходящие в конструкции, рассматриваются как минимум два участка наружной ограждающей конструкции с различной природой теплопереноса. Поэтому представляется целесообразным выделить двухкомпонентность переноса теплоты: одновременное рассмотрение теплопередачи через стену с утеплителем R_0^{ysl} и через воздушный зазор и облицовку $R_{зазора}^{эф}$ посредством определения термических сопротивлений [2].

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0^{np} :

$$R_0^{np} = \frac{(t_{в} - t_{н})}{q} = R_{СНиП}^{np} + R_{зазора}^{эф} = R_0^{ysl} \cdot r + R_{зазора}^{эф} \quad (1)$$

Термическое сопротивление наружной стены:

$$R_0^{ysl} = \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{н}} \quad (2)$$

где $\alpha_{вн}$ – внутренний коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К, $\alpha_{вн} = 8,7$; δ – толщина различных слоев наружной стены; r – коэффициент теплотехнической однородности.

Эффективное термическое сопротивление воздушного зазора:

$$R_{зазора}^{эф} = R_{СНиП}^{np} \frac{t_{cp} - t_{н}}{t_{в} - t_{cp}} + \left(\frac{1}{\alpha_{заз}} - \frac{1}{\alpha_{н}} \right) \left(\frac{t_{в} - t_{н}}{t_{в} - t_{cp}} \right) \quad (3)$$

В случае отсутствия воздушного зазора второе слагаемое в (1) исчезает.

Приведенное сопротивление теплопередаче типовой конструкции, состоящей из кирпичной стены с утеплителем из минераловатных плит толщиной 125 мм, воздушного зазора и стальных кронштейнов, составляет $R_0^{\text{ип}} = 2,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, что меньше нормированного значения $R_0^{\text{норм}} = 3,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Рассмотрим вариант снижения тепловых потерь и повышения эффекта энергосбережения путем увеличения толщины воздушного зазора.

Для конструкции стены из кирпича площадью 150 м^2 с теплоизолирующей плитой из минеральной ваты толщиной 125 мм, облицованной гранитной плитой толщиной 10 мм, в зависимости от толщины воздушного зазора, тепловые потери будут изменяться следующим образом (см. таблицу).

Энергосберегающий эффект при использовании конструкции стены с воздушным зазором

	Толщина воздушной прослойки δ , мм	Термическое сопротивление через стену с утеплителем R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Термическое сопротивление воздушного зазора $R_{\text{зазора}}^{\text{эф}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Тепловые потери стены Q , Вт	Энергосберегающий эффект, %
1	40	4,507	3,25	2261,54	28
2	45	4,712	3,4	2161,76	28
3	50	4,918	3,54	2076,27	28
4	55	5,122	3,69	1997,87	28
5	60	5,327	3,83	1919,06	28

Тепловые потери через конструкцию стены с увеличением толщины воздушной прослойки снижаются, однако эффект сбережения тепловой энергии при различной толщине воздушной прослойки остается постоянным, следовательно, зависит от толщины утеплителя.

В соответствии с [3] толщина слоя утеплителя $\delta_{\text{ут}}$ рассчитывается:

$$\delta_{\text{ут}} = \left(\frac{R_0^{\text{red}}}{r} - R_1 - R_n - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right) \cdot \lambda_{\text{ут}}, \quad (4)$$

где R_0^{red} – требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; r – коэффициент теплотехнической однородности; R_1 , R_n – приведенные сопротивления первого и последнего слоев.

При увеличении толщины утеплителя на 1 см эффект энергосбережения для стены площадью 150 м^2 составит 3 %, на 3 см – около 10 % соответственно.

Однако увеличение толщины теплоизоляционного слоя может быть нецелесообразно из-за увеличения числа кронштейнов и повышения стоимости конструкции, поэтому при решении проблем энергосбережения в строительстве большое значение имеют вопросы технико-экономического обоснования принимаемых решений. Так, устройство вентилируемого фасада с каркасом из нержавеющей стали и облицовкой из алюмокомпозитных материалов не находит широкого применения из-за большого срока окупаемости, составляющего 20 лет и более, хотя долговечность такой конструкции значительно превышает срок службы конструкции с облицовкой, к примеру, из пластика. К другим достоинствам фасадов из алюмокомпозитных материалов можно отнести легкость, богатство дизайнерских решений и возможность ремонта. В отличие от таких систем, вариант фасада с алюминиевой/оцинкованной подсистемой с керамогранитной облицовкой имеет меньший срок окупаемости (порядка пяти лет), однако при его использовании увеличивается нагрузка на здание и вероятность повреждения фасада [8].

Таким образом, при устройстве навесных фасадов в жилых и общественных зданиях происходит снижение тепловых потерь через стены этих зданий, решаются проблемы улучшения энергетических характеристик жилых и общественных зданий. Этому способствуют качество строительства и правильный выбор толщины утеплителя – основные факторы повышения энергетической эффективности стен зданий.

Список литературы

1. Гагарин, В.Г. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, Е.Ю. Цыкановский // АВОК. – 2004. – № 2, 3.
2. Павлушкина, Ю.Е. Навесной вентилируемый фасад и его характеристики / Ю.Е. Павлушкина, М.Е. Павлушкин // Молодой ученый. – 2016. – №28. – С. 136–140.
3. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий.
4. СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий. – М., 2004.
5. Петрянина, Л.Н. Система экологического менеджмента в проектной организации / Л.Н. Петрянина, А.А. Булдыгина, О.В. Карпова // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №4 (33). – С.164–170.
6. Петрянина, Л.Н. Создание системы менеджмента качества в проектной организации / Л.Н., Петрянина О.В. Карпова // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С.162–166.
7. Петрянина, Л.Н. Оценка существующей среды при архитектурно-строительном проектировании / Л.Н. Петрянина. // News of Science and Education. – 2017. – Т.4, №12. – С.54–56.
8. Тепловая эффективность эксплуатируемых жилых зданий / А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Петрянина // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 107–111.
9. Береговой, А.М. Техничко-экономическая эффективность энергосберегающих решений в архитектурно-строительном проектировании / А.М. Береговой, М.А. Дерина, Л.Н. Петрянина // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №2. – С. 144–148.

References

1. Gagarin, V.G. Calculation of thermal insulation of facades with ventilated air gap / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov, E.U. Tsykanovskyej // ABOK. – 2004. – № 2, 3.
2. Pavlushkina, J.E. Ventilated façade and its characteristics / J.E. Pavlushkina, E.M. Pavlushkin // Young scientist. – 2016. – No. 28. – P. 136–140.
3. Recommendations for design of curtain wall systems with ventilated air gap for new construction and reconstruction of buildings.
4. SNiP 23-02-2003. Thermal protection of buildings. – M., 2004.
5. Petryanina, L.N. Environmental management system in the project organization / L.N. Petryanina, A.A. Buldygina, O.V. Karpova // Regional architecture and engineering. – 2017. – №4 (33). – P. 164–170.
6. Petryanina, L.N. Creation of a system of quality management in design organizations / L.N. Petryanina, O.V. Karpova // Regional architecture and engineering. – 2013. – №1. – P. 162–166.
7. Petryanina, L.N. Evaluation of the existing environment in architectural engineering / L.N. Petryanina // News of Science and Education. – 2017. – Vol. 4, No. 12. – P. 54–56.
8. Thermal efficiency of operated residential buildings / A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, A.V. Maltsev, L.N. Petryanina // Regional architecture and engineering. – 2012. – No. 1. – P. 107–111.
9. Beregovoy, A.M. Technical and economic efficiency of energy-saving solutions in architecture and civil engineering / A.M. Beregovoy, M.A. Derin, L.N. Petryanina // Regional architecture and engineering. – 2015. – No. 2. – P. 144–148.

УДК 624.072.22

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Зернов Владимир Викторович,

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Механика»

Зайцев Михаил Борисович,

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Механика»

Анурьева Юлия Владиславовна,

студентка

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Zernov Vladimir Victorovich,

Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Mechanics»

Zaytsev Mihail Borisovich,

Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Mechanics»

Anurieva Julia Vladislavovna,

Student

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ СТЕРЖНЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРМ ИЗ УСЛОВИЯ РАВНОУСТОЙЧИВОСТИ

В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, Ю.В. Анурьева

Представлена методика определения оптимальных жесткостей стержней ферм с учетом жесткости узлов и принципа равноустойчивости. Показаны необходимые зависимости и алгоритм расчета металлических ферм с учетом фактической степени защемленности сжатых элементов ферм, а соответственно, и действительного сопротивления узлов конструкции повороту при потере устойчивости, которые расчет по СНиПу не учитывает.

Ключевые слова: металлическая ферма, общая устойчивость, критическая нагрузка, принцип равноустойчивости, предельная гибкость, критическое напряжение, рациональная жесткость

DEFINITION OF RATIONAL RIGIDITY OF RODS OF STEEL TRUSSES FROM THE CONDITION OF EQUAL STABILITY

V.V. Zernov, M.B. Zaytsev, J.V. Anurieva

This article presents a method of determining the optimal stiffness of the rods farms with consideration of rigidity and the principle of rovnoselmash. Shows the required dependencies and the algorithm of calculation of metal trusses based on the actual degree of seemliness compressed truss elements, and, respectively, and the actual resistance of the components to rotate in the loss of stability that the calculation according to SNiP ignores.

Keywords: steel truss, critical load, total resistance, principle of equal stability, extreme flexibility of critical voltage, rational rigidity

Известно [1, 2], что разрушение металлических ферм происходит вследствие потери устойчивости сжатых раскосов средних панелей, несмотря на то что они не являются самыми нагруженными и расчет ферм с одинаковой гибкостью стержней по СНиПу должен был бы обеспечить равноустойчивость всех сжатых элементов. Расчет по СНиПу не учитывает действительного сопротивления узлов конструкции повороту при потере устойчивости и степень деформации сжатых элементов.

Определим оптимальные жесткости элементов ферм, обеспечивающие их равноустойчивость, учитывая действительную степень защемленности сжатых стержней (фактическую жесткость узлов).

Равноустойчивость отдельных стержней фермы обуславливается одинаковыми деформациями, выраженными через углы поворота узлов верхнего пояса, и одинаковыми напряжениями для каждой группы сжатых элементов.

Для ферм при высоте $h \geq \frac{l}{10}$, у которых гибкости сжатых стоек и раскосов изменяются в пределах 80–150, учет продольных деформаций будет незначительно уменьшать величину критической нагрузки [2, 3]. Поэтому при расчете на устойчивость сжатых стержней пренебрегаем линейными перемещениями узлов. При таком допущении расчет ферм на устойчивость с учетом жесткости узлов существенно упрощается и продольные силы в элементах фермы от действия узловой нагрузки определяются как для шарнирного закрепления в узлах [3]. В качестве допущения примем также, что отсутствует поворот всех узлов нижнего пояса кроме опорных, конструктивно незакрепленных. Это приведет к небольшому увеличению значения критического параметра сжимающих сил в элементах.

Условие равноустойчивости для сжатых стержней ферм выражается равенством углов поворота узлов верхнего пояса:

$$-Z_{k-1} = Z_k = -Z_{k+1}. \quad (1)$$

Реакции в узлах верхнего пояса фермы от единичных поворотов узлов:

$$\begin{aligned} r_{k,k} &= 4t_{k-1,k} \cdot \varphi_2(v_{k-1,k}) + 4t_{k,k+1} \cdot \varphi_2(v_{k,k+1}) + \\ &+ 4t_{kn,k+1} \cdot \varphi_2(v_{kn}) + 4t_k \cdot \varphi_2(v_k) + 4i_{kn} \cdot \chi_2(v_{kn}), \\ r_{k,k-1} &= 2t_{k,k-1} \cdot \varphi_3(v_{k-1,k}); \quad r_{k,k+1} = 2t_{k,k+1} \cdot \varphi_3(v_{k,k+1}), \end{aligned}$$

где

$$v_{kn} = \sqrt{\frac{N_{kn}^- l_{kn}}{t_{kn}}}; \quad v_{kn} = \sqrt{\frac{N_{kn}^+ l_{kn}}{i_{kn}}}. \quad (2)$$

Используя зависимость

$$\frac{0,5v}{\operatorname{tg}\left(\frac{v}{2}\right)} = 2\varphi_2(v) - \varphi_3(v),$$

и уравнение (1), получим n независимых уравнений, одно из которых для k -го узла фермы

$$\begin{aligned} r_{k,k}^* &= 2t_{k-1,k} \cdot \alpha_1(0,5v_{k-1,k}) + 2t_{k,k+1} \cdot \alpha_1(v_{k,k+1}) + \\ &+ 4t_{kn,k+1} \cdot \varphi_2(v_k) + 4i_{kn} \cdot \chi_2(v_{kn}) = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \alpha_1(0,5v_{k-1,k}) &= \frac{0,5v_{k-1,k}}{\operatorname{tg}\left(\frac{v_{k-1,k}}{2}\right)}; \\ \alpha_1(0,5v_{k,k+1}) &= \frac{0,5v_{k,k+1}}{\operatorname{tg}\left(\frac{v_{k,k+1}}{2}\right)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Равноустойчивая часть фермы представлена на рис. 1.

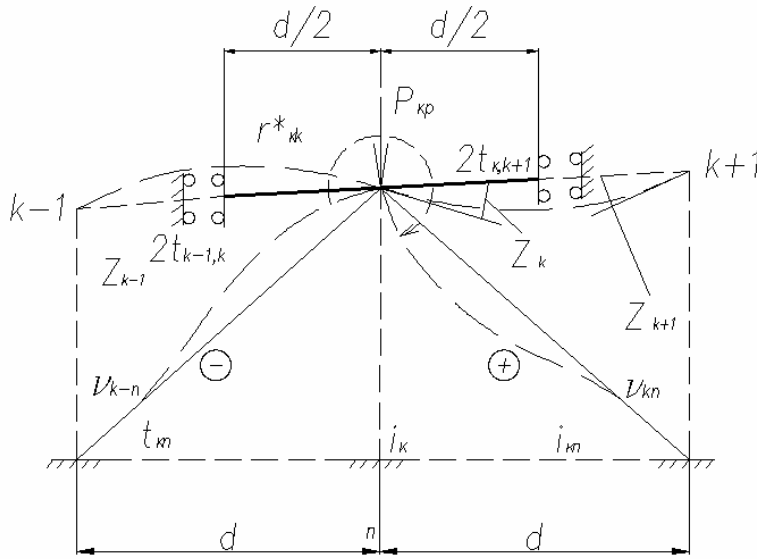


Рис. 1. Равноустойчивое k -е звено фермы

С учетом выражения (1) $Z_2 = -Z_1$, для первого узла фермы имеем

$$2t_{12} \cdot \alpha_1(0,5v_{12}) + 4i_{1n} \cdot \chi_2(v_{1n}) + 2t_{10} \left(2\varphi_2(v_{10}) + \frac{\varphi_3(v_{10})Z_0}{Z_1} \right) = 0.$$

Значение Z_0 зависит от опорного закрепления фермы и жесткостей элементов, сходящихся в опорном узле. Отношение $\frac{Z_0}{Z_1}$ определяется из нулевого уравнения системы метода перемещений

$$Z_{00}r_{00} + Z_1(r_{01} - r_{02}) = 0.$$

Представим алгоритм расчета.

1. Заданную нагрузку в узлах фермы принимаем за критическую и определяем продольные усилия во всех элементах при шарнирном соединении в узлах. Сечения растянутых элементов назначаем из условия прочности. Задав сечение, определяем геометрические характеристики растянутых раскосов.

2. Сечение верхнего пояса определяем по наибольшему усилию, принимая расчетную гибкость $\lambda = 60-100$. Частичное недонапряжение некоторых элементов верхнего пояса будет учитываться при определении реакций в узлах, а далее – при определении жесткостей сжатых элементов решетки.

3. Определяем жесткости сжатых раскосов и стоек из уравнений (3) и (2). Решая совместно эти уравнения, получим значения погонных жесткостей и параметров продольных сил, по которым можно найти для контроля коэффициент расчетной длины для стержней решетки:

$$\mu_{kn} = \frac{\pi}{v_{kn,кр}} \tag{5}$$

Для подбора сечений сжатых стоек и раскосов следует принимать одинаковую расчетную гибкость $\lambda_p = \lambda_{ст}$, при которой для этих стержней критическое напряжение будет одинаковым. Затем, задавшись формой сечения, нужно определить радиусы инерции $\rho = \frac{\mu l}{\lambda}$ и подобрать соответствующие сечения. При этом необходимо,

чтобы действительные погонные жесткости сжатых элементов решетки незначительно отличались от расчетных, полученных из решения уравнений (2) и (3).

Вследствие этого даже в том случае, когда верхний пояс будет иметь постоянное сечение и жесткость, довольно точно удовлетворяется первое условие равноустойчивости (равенство углов поворота узлов). Соответственно, свой физический смысл будет сохранять понятие расчетной длины для всех сжатых стержней решетки и верхнего пояса.

Потеря устойчивости сжатых элементов при гибкостях $\lambda < 100$ произойдет в упруго-пластической стадии. В этом случае при определении жесткости таких элементов на изгиб вместо модуля упругости E обычно принимают приведенный модуль T , зависящий от гибкости (от критического напряжения) [4]. В формулах (2) и (3) погонную жесткость для сжатых элементов ферм определяют как

$$t_{ks} = \tau i_{ks} = \frac{\tau E I_{ks} \pi}{l_{ks}}, \quad (6)$$

где τ – коэффициент приведенного модуля, $\tau = \frac{T}{E}$.

За пределом упругости зависимость между критическим напряжением $\sigma_{кр}$ и гибкостью λ можно принять квадратичной [4]. Например, для стали С245

$$\sigma_{кр} = 2100 - 0,082\lambda^2, \quad \varphi = \frac{\sigma_{кр}}{R} = 1 - 0,39 \cdot 10^{-4} \lambda^2. \quad (7)$$

Воспользуясь выражением $\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \tau E}{\lambda^2}$, имеем

$$\tau = \frac{T}{E} = (1 - 0,39 \cdot 10^{-4} \lambda^2) \cdot 1,013 \cdot 10^{-4} \lambda^2. \quad (8)$$

Найденные по (7) величины $\sigma_{кр}$ и φ практически совпадают с приведенными в СНиПе.

Коэффициент τ при одинаковой гибкости для сжатых стержней решетки будет одинаковым. Для элементов верхнего пояса значения τ одинаковыми не будут, но и не будут сильно различаться для различных панелей.

В качестве примера приведем расчет фермы, представленной на рис. 2.

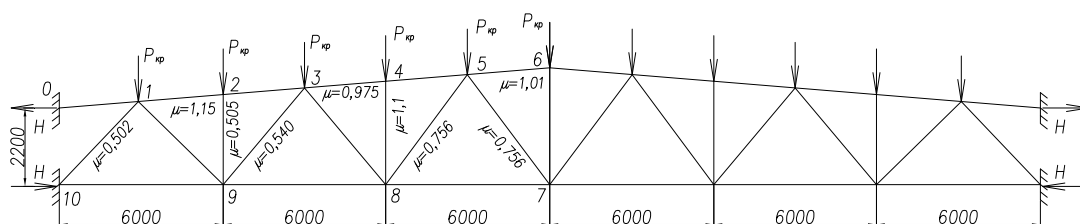


Рис. 2. Расчетная схема фермы

Результаты расчета по предложенной методике с использованием программного средства [2] приведены в таблице.

Из таблицы видно, что коэффициенты μ для средних сжатых раскосов и стоек получились больше, чем для крайних. Это объясняется тем, что степень защемления верхнего конца средних стержней решетки много меньше, чем крайних.

Стержни фермы	N , т	l , см	A , см ²	I , см ⁴	ν	μ
0 – 1	50	252	109.6	2598	-	-
1 – 2	-184	301	109.6	2598	2.73	1.15
2 – 3	-184	301	109.6	2598	2.73	1.15
3 – 4	-250	301	142.2	2950	3.22	0.975
4 – 5	-250	301	142.2	2950	3.22	0.975
5 – 6	-245	301	142.2	2950	3.22	0.975
1 – 9	105	383	40.4	962	-	-
3 – 8	38	415	27.8	212	-	-
1 – 10	-148	342	95	441	6.26	0.502
3 – 9	-70	415	54.9	350	5.81	0.54
5 – 8	-13	452	10.4	130	4.14	0.753
5 – 7	-16	452	12	130	4.14	0.756
2 – 9	-17	262	13.5	30	6.21	0.505
4 – 8	-17	312	13.5	200	2.86	1.1

Выводы

1. Предлагается методика расчета ферм, которая позволяет рационально распределить материал в верхнем поясе и в решетке фермы и дает определенную экономию металла за счет уменьшения сечений тех стержней, которые при потере устойчивости неэффективно участвуют в работе фермы.

2. Для обеспечения равноустойчивости всех сжатых стержней при расчетах металлических ферм рекомендации СНиПа применительно к расчетным длинам должны быть откорректированы и разделены в зависимости от места расположения сжатых стоек и раскосов.

Список литературы

1. Раевский, А.Н. Проверка несущей способности металлических ферм с учетом искривлений отдельных элементов / А.Н. Раевский, М.Б. Зайцев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1999. – № 12. – С. 4.

2. Зернов, В.В. Определение критической нагрузки для стропильных ферм в упругой и упруго-пластической стадиях работы / В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, Н.Н. Ласков // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 4. – С. 85–89.

3. Зернов, В.В. Определение предельной нагрузки для сжатого искривленного стержня фермы с учетом развития пластических деформаций сечения и реальных условий закрепления в узлах / В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Моделирование и механика конструкций. – 2015. – № 2 (2). – С. 17.

4. Зернов, В.В. Анализ устойчивости стержневых систем в упруго-пластической стадии работы / В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, Ю.В. Анурьева // Моделирование и механика конструкций. – 2017. – № 6. – С. 4.

References

1. Raevskii, A.N. Verification of the bearing capacity of the steel trusses with account for the curvature of the individual elements / A.N. Raevskii, M.B. Zaitsev // News of higher educational institutions. Construction. – 1999. – No. 12. – P.4.

2. Zernov, V.V. Determination of critical load for roof trusses in elastic and elastic – plastic stages of work / V.V. Zernov, M.B. Zaitsev, N.N. Laskov // Regional architecture and construction. – 2014. – No. 4. – P. 85–89.

3. Zernov, V.V. Determination of the limiting load for compressed curved truss rod with the development of plastic deformation section and the actual conditions attaching to nodes / V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Modeling and mechanics of structures. – 2015. – No. 2 (2). – P. 17.

4. Zernov, V.V. Analysis of stability of rod systems in the elastic – plastic stage / V.V. Zernov, M.B. Zaitsev, Y.V. Anurieva // Modeling and mechanics of structures. – 2017. – No. 6. – P.4.

УДК 624.014.2.072.23.046.5

*Пензенский государственный
технологический университет*Россия, 440039, г. Пенза,
проезд Байдукова / ул. Гагарина, 1а / 11,
тел. (8412) 49-54-41; факс (8412) 49-60-86**Кузьмишкин Алексей Александрович,**
кандидат технических наук, доцент,
декан факультета биотехнологий*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**Гарькин Игорь Николаевич,**
доцент кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»*Penza State Technological University*Russia, 440039, Penza,
1A / 11 Baidukova / Gagarin St.,
tel. (8412) 49-54-41; fax (8412) 49-60-86**Kuzmishkin Alexei Alexandrovich,**
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Dean of the Faculty of Biotechnology
*Penza State University of Architecture
and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Garkin Igor Nikolaevich,**
Associate Professor of the department
«Quality management and technology of
building production»

ВЫНОСЛИВОСТЬ СВАРНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК

А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин

Уточнен предел выносливости металлических двутавровых сварных подкрановых балок, разработанных по экспериментальным данным выносливости в лаборатории «Выносливость подкрановых конструкций» кафедры «Строительные конструкции» ПГУАС.

Ключевые слова: подкрановая балка, предел выносливости, циклические испытания, экспериментальные исследования, динамические нагрузки

SPECIFIC STABILITY LIMIT OF WELDED COATING BEAMS

A.A. Kuzmishkin, I.N. Garkin

Endurance limit for metal I-shaped welded cranial beams obtained experimentally in the laboratory «Endurance of crane structures» of the department «Building structures» of PGUAS is analyzed.

Keywords: crane beam, limit of endurance, cyclic tests, experimental studies, dynamic loads

Известна [1, 2] низкая работоспособность сварных подкрановых балок двутаврового сечения. В них после 0,6 миллионов циклов прокатывания колёс кранов появляются усталостные трещины в подрельсовой зоне стенки со стороны эксцентриситета рельса. Их возникновение определяется локальными сдвигами, происходящими на фоне нормальных сжимающих напряжений. Волны напряжений идут вслед за катящимися колёсами кранов. По мере увеличения амплитуд колебаний локальных сдвигающих напряжений $\tau_a = 0,5(\tau_{\max} - \tau_{\min})$ и соответствующих циклических сдвигов (амплитуда τ_a колебаний локальных сдвигающих напряжений характеризует динамическую составляющую и зависит от сосредоточенных сил P и T , генерируемых колёсами кранов) появляется опасность возникновения усталостных трещин. Силы P и T приложены с эксцентриситетом и в подрельсовой зоне балки генерируют локальные крутящие моменты $M_{кр}$ (имеют различные знаки). Амплитуды колебаний напряжений зависят от параметров рельса (моменты инерции при изгибе рельса $J_{хрел}$,

пояса $J_{x \text{ пояса}}$, кручения рельса $J_{\text{кр рел}}$ и пояса $J_{\text{кр пояса}}$). Экстремумы сдвигов находятся в зоне контакта рельса и пояса балки. Как оказалось, усталостные трещины возникают чуть ниже, а именно в зоне высокой концентрации напряжений (место стыка сварного пояса со стенкой).

Колебания локальных сдвигающих напряжений $\tau_{2\text{max}}^{\text{loc}} = -0,5 \sum \sigma_y^{\text{loc}}, \pm \tau_{xy}^{\text{loc}} \pm \tau_{xy \text{кр}}^{\text{loc}}$, возникают на фоне действия сжимающих напряжений $\sum \sigma_y^{\text{loc}} = \sigma_y^{\text{loc}} + \sigma_{y \text{кр}}^{\text{loc}}$ и $\sum \sigma_x^{\text{loc}} = \sigma_x^{\text{loc}} + \sigma_{x \text{кр}}^{\text{loc}}$ со стороны эксцентриситета и достигают значительных величин. Колебания $\tau_{2\text{max}}^{\text{loc}}$ происходят с циклами от нуля до экстремального значения, а локальные касательные напряжения $\pm \tau_{xy}^{\text{loc}}$ – с симметричными циклами (возникают и пропадают при каждом прокатывании колёс крана). Асимметрию циклических сдвигов, генерируемых катящимися колёсами кранов, оценивали амплитудным коэффициентом

$$A_\tau = \frac{\tau_a^{\text{loc}}}{\tau_{\text{экт}}^{\text{loc}}},$$

где τ_a^{loc} – амплитуды колебаний циклов от их средней величины τ_m ; $\tau_{\text{экт}}^{\text{loc}}$ – экстремальные значения сдвигающих напряжений.

Амплитудный коэффициент сдвигов A_τ всегда положительный и изменяется от 1 до 0 (нулевому значению соответствует статическая нагрузка; единице – колебания с симметричными циклами, амплитуда достигает экстремальных значений). Экстремальное значение $\tau_{\text{экт}}^{\text{loc}} \Big|_{A_\tau=0,5} = 2\tau_a$. При постепенном возрастании амплитуд сдвигов происходит увеличение A_τ от 0 до 1.

По экспериментальным данным были определены линии регрессии (рис. 1). На базе четырех миллионов циклов были получены линии регрессии и в координатах $\ln \tau - \ln N$, а также определены пределы выносливости при двух и четырех миллионах циклов; $\tau_{A=0,5K}^{\text{loc}} = a_\tau N^{b_\tau} = 97 \cdot N^{-0,26}$; ожидаемый предел выносливости – $\tau_{A=0,5K}^{\text{loc}} = 67,7 \text{ МПа}$.

Линия регрессии

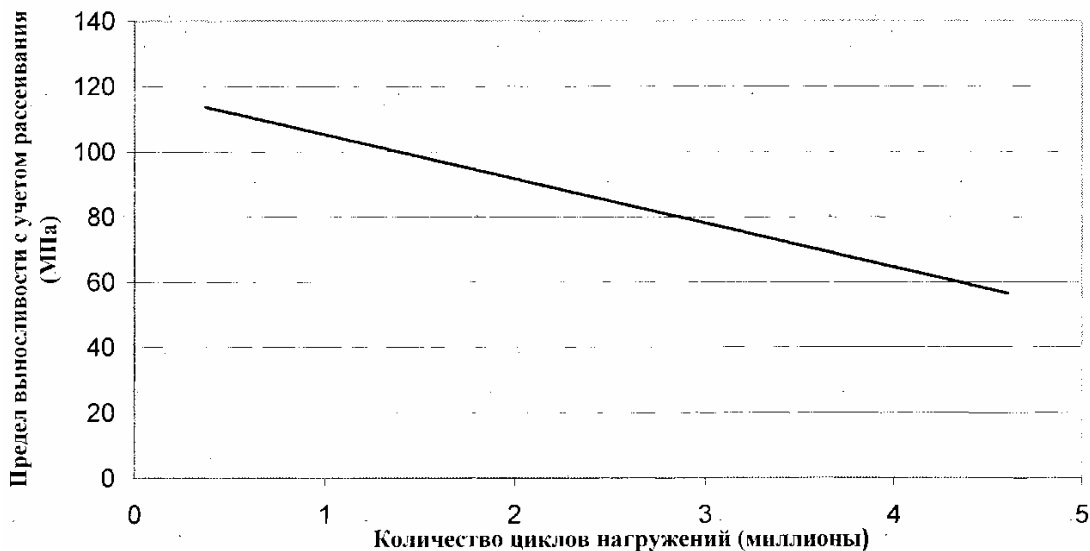


Рис. 1. Линия регрессии для сварных подкрановых балок

Из правила трёх сигм (нормальный закон рассеяния результатов испытаний) следует $\tau_{A=0,5}^{loc} - 3\sigma_{\tau/N} = 67,67 - 3,27 = 64,40$ МПа .

Новые линии регрессии получим после статистической обработки ранее опубликованных результатов испытаний на выносливость в зависимости от симметричных циклов колебаний локальных сдвигающих напряжений $\pm\tau_{xy}^{loc}$.

Эта новая линия регрессии показана на рис. 1.

$$\tau_{A=1K}^{loc} = a_{\tau} N^{b_{\tau}} = 46,5832942 \cdot N^{-0,2598438} .$$

Приведённая линия регрессии устанавливает связь количества симметричных циклов $\pm\tau_{xy}^{loc}$ сдвигающих напряжений, а также их число в миллионах (до появления усталостных трещин).

При четырёх миллионах симметричных циклов колебаний $\pm\tau_{xy}^{loc}$ предел выносливости $\tau_{A=1K}^{loc} = 32,5$ МПа . При нормальном законе рассеяния Гаусса (средние квадратичные отклонения $3\sigma_{\tau/N} = 3,3$ индивидуального рассеяния) получаем предел выносливости 29,2 МПа.

Экспериментально получены пределы выносливости: при $\tau_{A=0,5}^{loc} = 64,38$ МПа , четырёх миллионах циклов прокатывания колёс кранов и пределе выносливости при симметричном цикле сдвигающих колебаний $\pm\tau_{A=1K}^{loc} = \pm 29,22$ МПа ; предполагая линейную связь между ними, получаем диаграмму пределов выносливости при колебаниях локальных касательных напряжений во всем диапазоне их изменения (рис. 2; сдвиг происходит на фоне нормальных сжимающих напряжений).

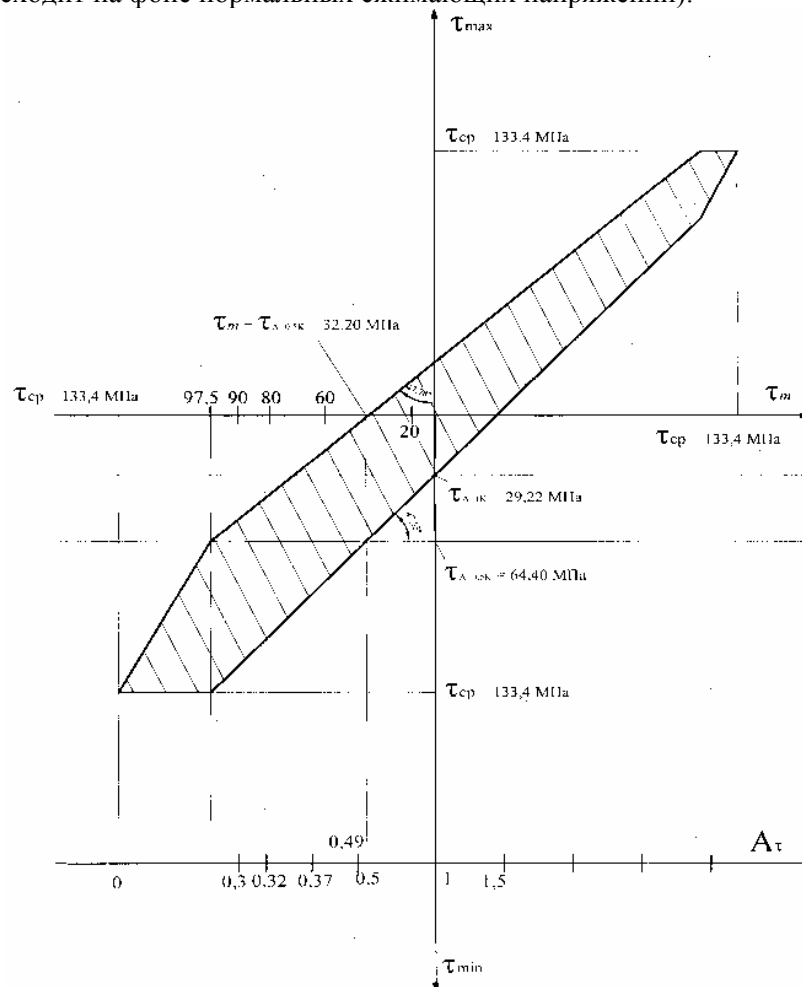


Рис. 2. Диаграмма пределов выносливости

В третьей четверти касательные напряжения колеблются на фоне сжимающих напряжений: $\sum \sigma_x^{loc} = \sigma_x^{loc} + \sigma_{x\text{ кр}}^{loc}$ и $\sum \sigma_y^{loc} = \sigma_y^{loc} + \sigma_{y\text{ кр}}^{loc}$. Эта часть диаграммы относится к подкрановым балкам. Предел выносливости по сдвигающим напряжениям определяется в соответствии с

$$\tau_{\text{пред.вын.}}^{loc} = \tau_{A=1K}^{loc} + |\tau_m| \cdot \text{tg } \psi_H.$$

Угол наклона ψ_H определится из условия

$$\text{tg } \psi_H = \frac{\tau_{A=0,5K}^{loc} - \tau_{A=1K}^{loc}}{0,5 \cdot \tau_{A=0,5K}^{loc}} \Rightarrow \text{tg } \psi_H = 2 \cdot \left(1 - \frac{\tau_{A=1K}^{loc}}{\tau_{A=0,5K}^{loc}} \right);$$

$$\frac{\tau_{A=1K}^{loc}}{\tau_{A=0,5K}^{loc}} = \frac{29,22}{63,38} = 0,461. \text{ Для сварных балок } \psi_H = 47,15^\circ.$$

Диаграмма выносливости ограничена сверху:

$$\tau_{\text{пред.вын.}}^{loc} = \tau_{A=1K}^{loc} - |\tau_m| \cdot \text{ctg } \psi_B;$$

$$\psi_B = \text{arctg} \frac{\tau_{A=0,5K}^{loc}}{2 \cdot \tau_{A=1K}^{loc}} = \text{arctg} \frac{63,38}{2 \cdot 29,22} = 47,32^\circ.$$

Задавая средние напряжения циклов $|\tau_m|$ по модулю, получим пределы выносливости R_V в МПа при уменьшении амплитудного коэффициента сдвигов A_τ . Пределы выносливости R_V при увеличении средних напряжений $|\tau_m|$ до величины 90 МПа стремятся к расчётному сопротивлению стали при срезе.

Как видим, возможно появление усталостных трещин в малоцикловой области. Около опор балок средние касательные напряжения $|\tau_m|$ от среза стенки значительно влияют на выносливость К-образного сварного шва. Амплитудный коэффициент сдвигов A_τ уменьшается от 1 до 0,3.

Диаграмма выносливости в первой четверти справедлива для сдвигающих напряжений при фоновых напряжениях растяжения. Предельные амплитуды колебаний напряжений диаграммы в первой четверти несколько меньше, чем в третьей.

Выводы

1. Получена линия регрессии, связывающая величину сдвигающих напряжений при симметричных циклах (число циклов до появления усталостных трещин в подрельсовой зоне К-образного шва, соединяющего стенку и пояс балки).
2. Приводятся диаграммы пределов выносливости по сдвигающим напряжениям, показывающие безопасный уровень колебаний касательных напряжений в двутавровых подкрановых балках с К-образными швами в подрельсовой зоне.
3. Диаграммы пределов выносливости допускают проверку выносливости подрельсовой зоны балок на любой из опасных площадок при любом амплитудном коэффициенте сдвигов A_τ при четырёх миллионах циклов прокатывания колёс через конкретное сечение.
4. Полученная диаграмма пределов выносливости позволяет сформулировать новый принцип конструирования сварных подкрановых балок – удаление К-образного шва, соединяющего стенку и верхний пояс балки, из подрельсовой зоны на безопасное расстояние, обеспечивающее затухание циклических сдвигов до величины, меньшей предела выносливости К-образного шва.

Список литературы

1. Кузьмишкин, А.А. Выносливость металлических подкрановых конструкций при тяжелом режиме циклических нагрузений: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Кузьмишкин. – Пенза, 2006. – 187 с.

2. Нежданов, К.К. Испытание неразрезных подкрановых балок на выносливость / К.К. Нежданов, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С.81–86.
3. Опыт разработки программы для расчёта подкрановых балок – «СО 2.0» / И.Н. Гарькин, Н.В. Агафонкина, М.А. Максяшева, С.И. Ерохина // Фундаментальные исследования. – 2016. – №5 (часть 2). – С.231–236.
4. Данилов, А.М. Моделирование и обработка экспериментальных данных при подготовке магистров и аспирантов / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 3 (24). – С. 73–77.
5. Гарькина, И.А. Многоцелевые системы: формализация целей, оптимизация / И.А. Гарькина // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2017. – № 1 (4). – С. 92–95.

References

1. Kuzmishkin, A.A. Endurance of metal crane constructions under heavy cyclic loading conditions: Thesis for obtaining the scientific degree of Cand.Tech.Sci. / A.A. Kuzmishkin. – Penza, 2006. – 187 p.
2. Nezhdanov, K.K. Testing of continuous crane beams for endurance / K.K. Nezhdanov, I.N. Garkin // Regional architecture and engineering. – 2016. – No. 2. – P.81–86.
3. Developing a program for the calculation of crane beams – «CO 2.0» / I.N. Garkin, N.V. Agafonkina, M.A. Maksyasheva, S.I. Erokhina // Fundamental research. - 2016. – № 5 (part 2) – P.231–236.
4. Danilov, A.M. Modeling and processing of experimental data in the preparation of masters and graduate students / A.M. Danilov, I.A. Garkina, A.A. Kiselev // Regional architecture and engineering. – 2015. – No. 3 (24). – P. 73–77.
5. Garkina, I.A. Multipurpose systems: goal formalization, optimization / I.A. Garkina // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2017. – No. 1 (4). – P. 92–95.

УДК 624.156

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

*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

РАСЧЁТ ПРОЧНОСТИ РОСТВЕРКА ПОД КОЛОННУ ПО КАРКАСНО-СТЕРЖНЕВЫМ МОДЕЛЯМ

М.В. Кочеткова

Представлен новый метод определения прочности ростверка под колонну при многорядном расположении свай с применением пространственных каркасно-стержневых моделей, которые учитывают напряжённо-деформированное состояние ростверков. Разработаны расчетные условия для определения прочности наклонных сжатых полос бетона и растянутых арматурных поясов ростверка, которые базируются на схемах предельных усилий в расчётных сечениях.

Ключевые слова: расчёт прочности, ростверки под колонну, каркасно-стержневые модели, моделирование, напряжённо-деформированное состояние

CALCULATION OF STRENGTH GRILLAGE UNDER A COLUMN USING FRAME-CORE MODELS

M.V. Kochetkova

A new method for determining the strength of grillage under a column for multi-row arrangement of piles with the use of spatial frame-rod models, which copy the stress-strain state of grillage is presented. The design conditions for determining the strength of inclined compressed concrete strips and stretched reinforcement belts of the grillage are developed, which are based on the limiting force schemes in the calculated cross sections.

Keywords: strength calculation, grillage under a column, modeling, frame-core model, stress-strain state

Метод расчета, принятый в нормативной литературе, базируется на балочной аналогии и является приближённым [1, 2].

Анализ напряжённо-деформированного состояния ростверков на основе экспериментальных данных позволил предложить пространственные каркасно-стержневые модели ростверков (ПКСМ-А, ПКСМ-Ф), которые учитывают физическую работу ростверков [3].

Определение усилий в расчётных моделях ПКСМ-А и ПКСМ-Ф начинается с распределения вертикальных реакций F_i , учитывая их удаление от центра приложения нагрузки. Условно считаем, что узлы соединения сжатых и растянутых стержневых элементов шарнирные. Определение усилий производим на основе уравнений равновесия. Особенности напряженно-деформированного состояния многорядных свайных ростверков под колонны [4–6] позволили разработать расчетные зависимости для определения реакций свай и внутренних усилий. С удалением свай от оси колонны

уменьшаются угол наклона и сжимающие напряжения. Поэтому сжимающие усилия распределяются пропорционально грузовым и опорным площадкам, т.е.

$$\frac{S_i}{S_{i+1}} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_{i+1}}, \quad (1)$$

где S_i – усилие в наклонном сжатом потоке; θ_i – угол наклона сжатого потока.

$$S_i = \frac{F_i}{\sin \theta_i}; \quad (2)$$

здесь F_i – опорная реакция в i -й свае.

Соотношение опорных реакций имеет общий вид:

$$\frac{F_i}{F_{i+1}} = \frac{\sin^2 \theta_i}{\sin^2 \theta_{i+1}}. \quad (3)$$

При этом $\sum F_i = F$, где F – вертикальная сила, действующая на ростверк.

Расчётная модель ПКСМ-А представлена на рис. 1. Расчётные усилия для моделей ПКСМ-А при $F = 1$ приведены в табл. 1.

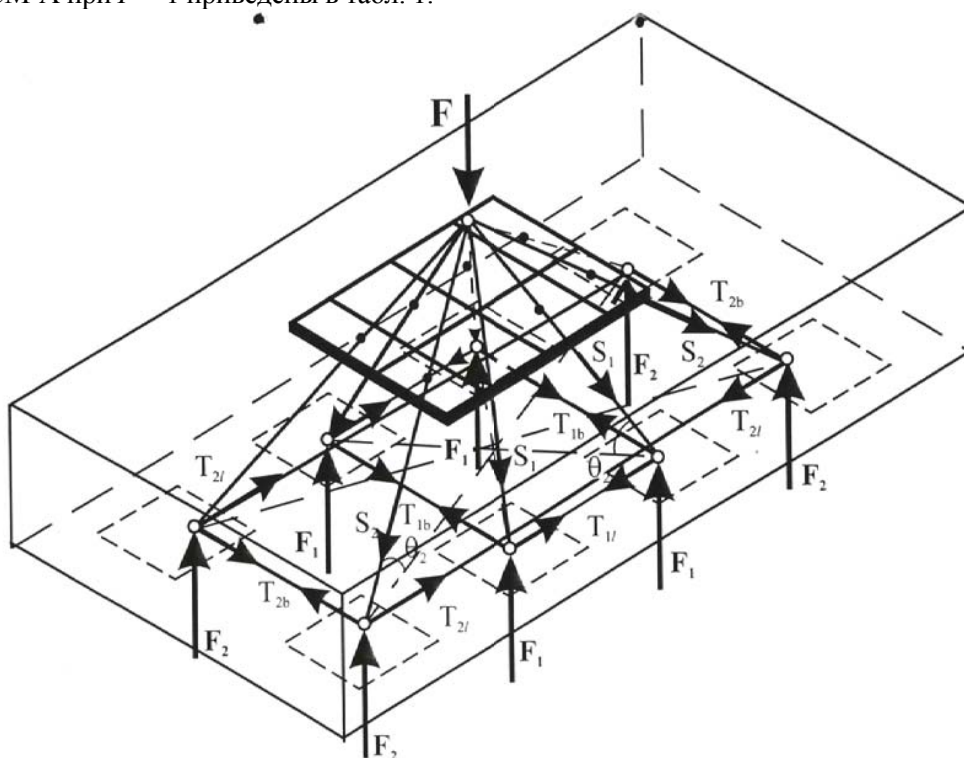


Рис. 1. Расчётная модель ПКСМ-А для восьмисвайного ростверка

Т а б л и ц а 1

Усилия для моделей ПКСМ-А

Кол-во свай	Номер свай	θ_i	F_i	S_i	T_{id}	T_{il}	T_{ib}
1	2	3	4	5	6	7	8
6	1	56	0,207	0,25	0,14	-	0,14
	2	44	0,146	0,21	0,151	0,126	0,084
8	1	51	0,17	0,218	0,137	0,196	0,11
	2	33	0,08	0,148	0,125	0,114	0,05
12	1	70	0,157	0,167	0,144	0,114	-
	2	42	0,08	0,12	0,089	0,091	0,083
	3	41	0,076	0,115	0,086	0,086	-
	4	33	0,052	0,095	0,08	0,06	0,053

При расчете модели ПКСМ-Ф есть некоторые особенности. Предлагается расчетные усилия определять поэтапно. На первом этапе нагружаются центральные сваи, затем нагрузка передается от них на соседние сваи и так далее до полного ее распределения между всеми сваями. При этом суммарная нагрузка F на всех этапах постоянна. Таким образом, в сваях, находящихся близко к оси колонны, поэтапно изменяются значения усилий S и T . Количество их соответствует числу этапов. Все усилия являются расчетными. Значения усилий для моделей ПКСМ-Ф (рис. 2) при $F = 1$ приведены в табл. 2. Сжимающие и растягивающие усилия определяются в продольном, поперечном и диагональном направлениях.

Т а б л и ц а 2

Усилия для моделей ПКСМ-Ф

Кол-во свай в ростверке	Номер этапа	Номер сваи	F_i/F	Продольное направление			Поперечное направление			Диагональное направление		
				Θ_{il} , град	S_{il}	T_{il}	Θ_{ib} , град	S_{ib}	T_{ib}	Θ_{id} , град	S_{id}	T_{id}
6	I	1	0.5	-	-	-	56	0.603	0.337	56	0.603	0.337
	II	2	0.122	35	0.213	0.174	-	-	-	-	-	-
		2	0.122	20	0.18	0.17	15	0.235	0.228	23	0.312	0.287
III	1	0.255	-	-	-	56	0.307	0.172	56	0.307	0.172	
8	I	1	0.25	-	-	0.185	-	-	0.246	51	0.321	0.308
	II	2	0.056	25	0.132	0.12	-	-	-	-	-	-
		2	0.056	13	0.124	0.12	10	0.160	0.157	16	0.203	0.195
III	1	0.19	-	-	0.212	-	-	0.122	51	0.244	0.153	
12	I	1	0.5	70	0.532	0.182	-	-	-	70	0.532	0.182
		2	0.086	-	-	-	37	0.143	0.114	-	-	-
	II	3	0.12	45	0.169	0.12	-	-	-	45	0.169	0.12
		1	0.21	70	0.223	0.196	-	-	-	70	0.223	0.196
		2	0.052	27	0.058	0.051	21	0.145	0.135	31	0.1	0.086
	III	3	0.048	45	0.067	0.048	-	-	-	45	0.06	0.048
		4	0.02	27	0.022	0.019	21	0.028	0.026	31	0.089	0.033

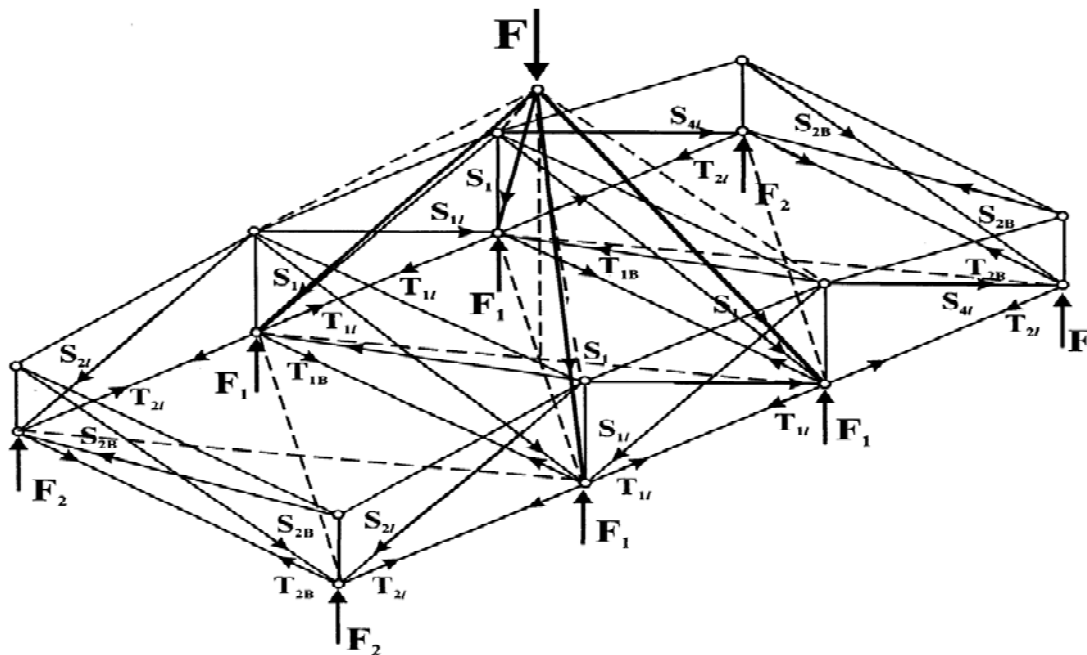


Рис. 2. Расчётная модель ПКСМ-Ф для восьмисвайного ростверка

Растягивающие усилия T в диагональном направлении для всех модификаций расчетных моделей определяются по формуле

$$T_{id} = S_{id} \cos \theta_{id}, \quad (4)$$

где S_{id} – сжимающие усилия i -й сваи в диагональном направлении; θ_{id} – пространственный угол наклона сжатой бетонной полосы.

В продольном направлении

1) для восьмисвайного ростверка усилия T_{1l} определяется так:

$$T_{1l} = T_{1d} \cos \alpha_1 + T_{2l}; \quad (5)$$

2) для двенадцатисвайного ростверка усилия T_1 и T_{2l} определяются по формулам

$$T_1 = S_1 \cos \theta_1 + T_3; \quad (6)$$

$$T_{2l} = T_{2d} \cos \alpha_1 + T_{4l}. \quad (7)$$

Далее необходимо определить предельные состояния и условия прочности ростверка.

Предельным состоянием сжатой полосы является достижение сжимающими напряжениями предела прочности на сжатие $\gamma_b R_b$, по растянутой зоне – достижение растягивающими напряжениями в арматуре предельных значений $\gamma_s R_s$ (рис. 3).

Прочность ростверков по сжатой зоне определяется по расчёту каждой наклонной бетонной полосы, расположенной над соответствующей сваей, и записывается в виде уравнения

$$\begin{aligned} S_i &\leq \gamma_b R_b A_b; \\ F_i &\leq \gamma_b R_b \sum (A_b \sin \theta), \end{aligned} \quad (8)$$

где R_b – предельное сопротивление бетона сжатию; A_b – расчетная площадь сечения; γ_b – коэффициент, полученный на основе экспериментов.

Кроме того, в формулу (8) следует ввести коэффициенты γ_{bl} для учёта влияния окружающего бетона и γ_{loc} для учёта армирования в зоне действия местной нагрузки.

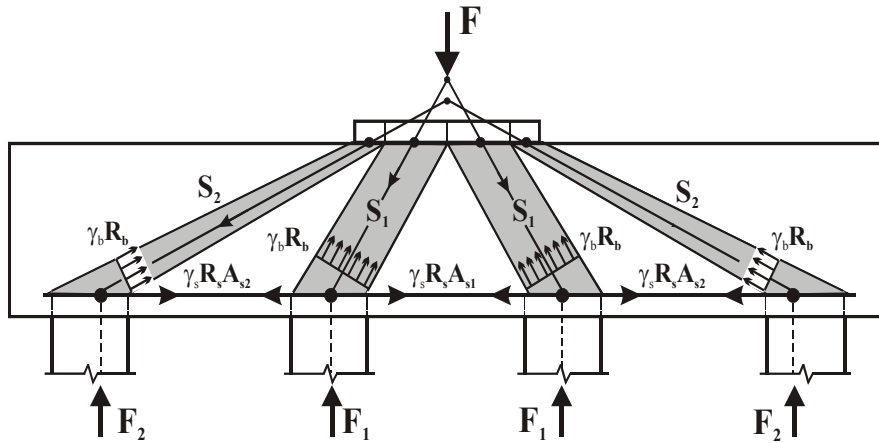
Прочность ростверков по растянутой зоне определяется на основе предельного состояния, соответствующего арматурному поясу, и записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} T_i &\leq \gamma_s R_s A_s; \\ F &\leq \gamma_s R_s \sum (A_s \operatorname{tg} \theta), \end{aligned} \quad (9)$$

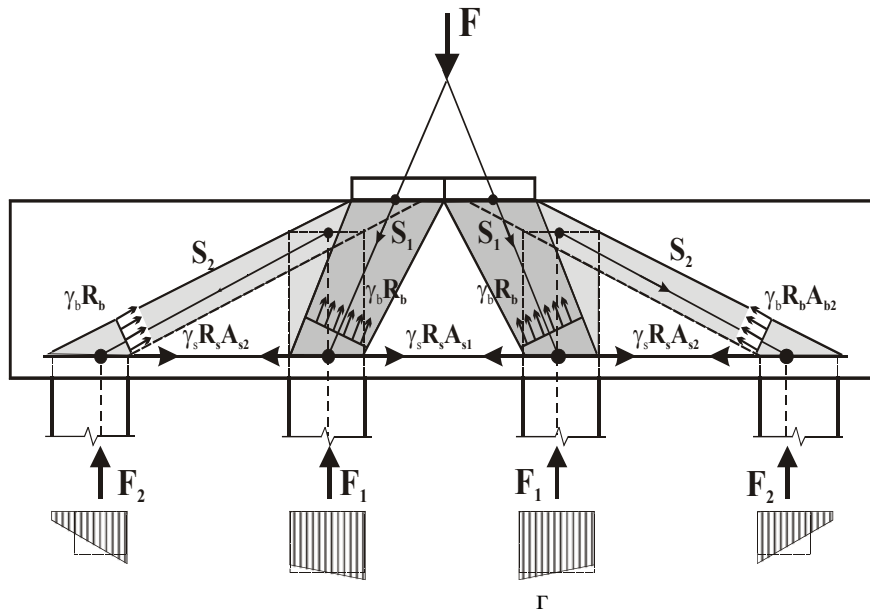
где R_s – предельное сопротивление арматуры; A_s – площадь поперечного сечения арматуры; γ_s – коэффициент, полученный на основе экспериментов.

При определении расчетных сечений сжатых бетонных полос предлагаемых каркасно-стержневых моделей следует учитывать, что расчетные полосы имеют переменное сечение. Выбор расчетного сечения заключается в определении наименьшего поперечного сечения сжатого бетонного потока. Целесообразно рассмотреть три возможных расчетных сечения сжатых бетонных полос, ориентированных в пространстве – понизу, поверху и среднее. С уменьшением площади поперечного сечения расчетной полосы A_b концентрация напряжений увеличивается. Одновременно увеличивается предельное сопротивление бетона, испытывающего объемное напряженное состояние. Степень увеличения определяется критериями прочности бетона $\gamma_b R_b$. Следовательно, расчетным будет сечение, в котором предельные усилия $\gamma_b R_b A_b$ имеют наименьшее значение [7].

а



б



в

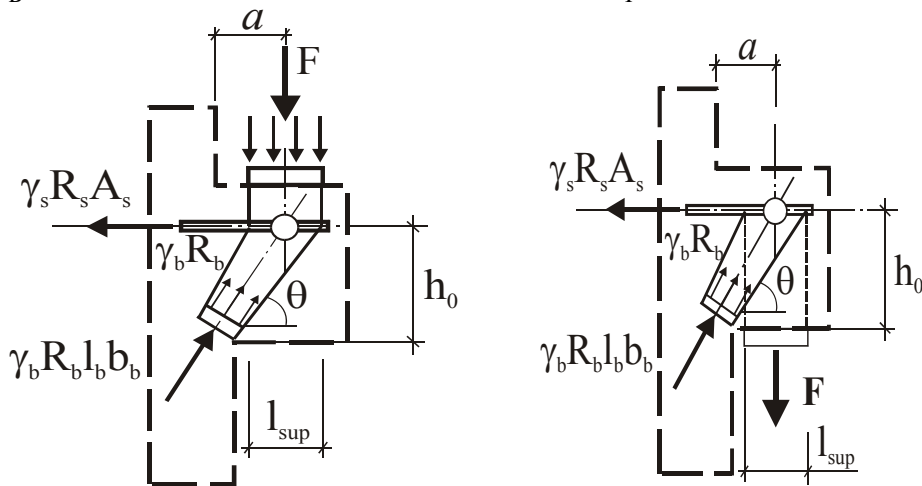


Рис. 3. Схема предельных усилий в расчетных сжатых бетонных полосах и растянутом арматурном поясе:

а – модель ПКСМ-А; б – модель ПКСМ-Ф;

в, г – фрагменты аналогий построения КСМ в консолях

Предлагаемые модели и расчётные зависимости хорошо описывают физическую работу и характер напряжённо-деформированного состояния ростверков, а также закономерность изменения разрушающих усилий при изменении различных факторов – схемы расположения свай, схемы приложения нагрузки, перемещения свай, схемы и количества продольной арматуры; позволяют разработать новый принцип армирования растянутой зоны, включающий концентрацию продольной арматуры над сваями; среднее отклонение опытных и расчётных величин составляет $F_{test}/F_{calc}=1,15$.

Список литературы

1. Кочеткова, М.В. Работа ростверков под колонны при многорядном расположении свай / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, Е.С. Аленкина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2(19). – С.144–151.
2. Кочеткова, М.В. Методы расчёта ростверков под колонны / М.В. Кочеткова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №5. – С.218–223.
3. Кочеткова, М.В. Расчётные модели ростверков под колонны / М.В. Кочеткова // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1(30). – С.106–112.
4. Экспериментальная оценка работы ростверков / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, О.В. Снежкина, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1(18). – С.77–81.
5. Кочеткова, М.В. Особенности распределения напряжений и деформаций в многорядных свайных ростверках под колонны / М.В.Кочеткова, О.А.Гончаренко // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2(19). – С.137–143.
6. Кочеткова, М.В. Измерение вертикальных смещений свай для выявления напряжённо-деформированного состояния опорных участков / М.В. Кочеткова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2017. – №2(9). – С.155–160.
7. Кочеткова, М.В. Совершенствование методов расчёта многорядных свайных ростверков под колонны / М.В. Кочеткова, О.В. Снежкина, А.В. Корнюхин. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 139 с.

References

1. Kochetkova, M.V. Work of raft foundations under columns with multiple-row arrangement of piles / M.V.Kochetkova, N.I. Gusev // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2 (19). – P.144–151.
2. Kochetkova, M.V. Calculation methods of raft foundations under columns / M.V. Kochetkova // Education and science in the actual world. Innovation. – 2016. – №5. – P.218–223.
3. Kochetkova, M.V. Calculated model of raft foundations for columns / M.V. Kochetkova // Regional architecture and engineering. – 2017. – №1 (30). – P.106–112.
4. Experimental evaluation of grillages work / M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, O.V. Snezhkina, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №1(18). – P.77–81.
5. Kochetkova, M.V. Features of distribution of stresses and strains in the multi-row pile grillage under columns / M.V. Kochetkova, O.A. Goncharenko// Regional architecture and engineering. – 2014. – №2 (19). – P.137–143.
6. Kochetkova, M.V. Measure of vertical displacement piles for detection stress-strain state support portions / M.V. Kochetkova // Education and science in the actual world. Innovation. – 2017. – №2(9). – P.155–160.
7. Kochetkova, M.V. Perfection of methods for calculating multilayer pile grilles for columns / M.V. Kochetkova, O.V. Snezhkina, A.V. Kornuhin. – Penza: PGUAS, 2011. – 139 p.

УДК 621:528.4

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

Хаметов Тагир Ишмуратович,
доктор экономических наук, профессор,
зав. кафедрой «Землеустройство
и геодезия»
E-mail:hametovt@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

Khametov Tagir Ishmuratovich,
Doctor of Economics, Professor,
Head of the department «Land management
and geodesy»
E-mail:hametovt@mail.ru

ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Т.И. Хаметов

Описана практика контроля планового и высотного положений надземных подкрановых путей мостовых кранов геодезическими методами. Разработана и апробирована технология измерения геометрических параметров подкрановых путей методом бокового и геометрического нивелирования непосредственно с площадок мостовых кранов и с пола промышленного цеха, которая позволит повысить производительность и безопасность труда исполнителей.

Ключевые слова: подкрановые пути, мостовые краны, геодезические измерения, рельсовые пути, плановая съёмка, высотная съёмка

MEASUREMENT OF GEOMETRIC PARAMETERS OF CRANE TRACKS BY GEODETIC METHODS

T.I. Khametov

Control practices of planned and vertical position of the overhead crane rails by geodetic methods are described. The technology of measurement of geometrical parameters of crane tracks by the method of lateral and geometric leveling directly from the platforms of bridge cranes and from the floor of the industrial workshop has been developed and tested. It helps to improve the performance and safety of the performers.

Keywords: crane tracks, bridge cranes, geodetic measurements, rail tracks, planned survey, high-altitude survey

Грузоподъемные наземные и надземные краны относятся к объектам повышенной опасности. При монтаже и эксплуатации этих объектов согласно действующим инструкциям подкрановые рельсовые пути в целях безопасности подлежат обязательному и периодическому контролю их состояния.

При этом геодезические измерения подкрановых рельсовых путей и контроль их рихтовки относятся к наиболее трудоемким и опасным процессам геодезической практики. К недостаткам современных методик геодезического контроля подкрановых путей мостовых кранов относится отсутствие безопасных технологических измерений (исполнители ходят по подкрановым путям, приборы устанавливаются в непригодных и незащищенных для измерения местах). К несовершенству технологии следует отнести и разделенность измерений высотных и плановых профилей подкрановых балок и рельсовых путей.

В результате исследований разработана и апробирована на практике технология геодезического измерения подкрановых путей мостовых кранов, повышающая производительность и безопасность труда исполнителей. Ее особенность состоит в

следующем. Применяется боковое и геометрическое нивелирование одновременно. Измерительными приборами являются теодолит, нивелир, геодезическая рулетка и видоизмененная конструкция нивелирной рейки. Ее вид и порядок установки на рельс показан на рис. 1.

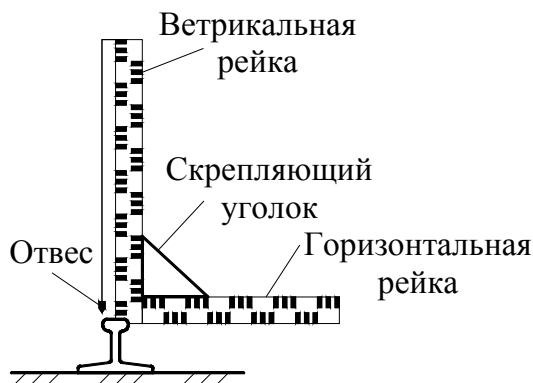


Рис. 1. Схема установки специальной нивелирной рейки

В процессе выполнения измерений принимают участие наблюдатель (геодезист), реечник и машинист мостового крана. При длине цехового пролета не более 100м теодолит и нивелир устанавливаются на защищенной площадке первого мостового крана в начале (конце) пролета. Нивелирная рейка с площадки второго мостового крана устанавливается реечником на рельс (подкрановую балку) в другом конце пролета. Схема выполнения плановой и высотной съемки подкрановых путей показана на рис. 2.

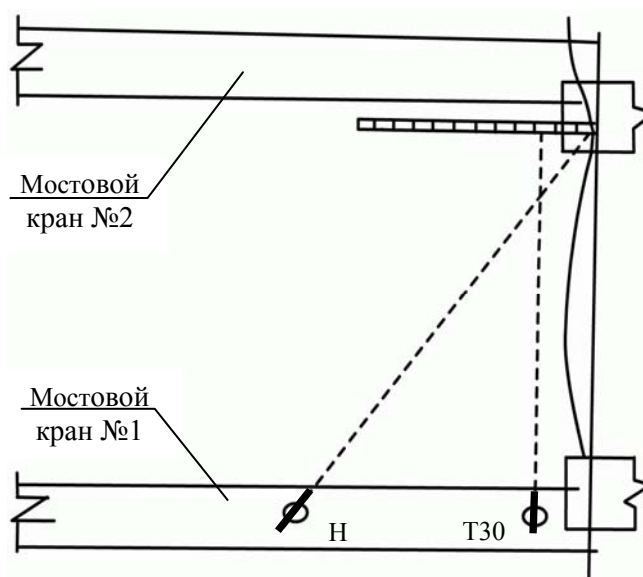


Рис. 2. Схема выполнения плановой и высотной съемки подкрановых путей

Наблюдатель берет отсчеты теодолитом по горизонтальной рейке и нивелиром по вертикальной рейке. Измерения выполняются по каждому рельсу отдельно. При длине цеховых пролетов более 100 м в пролете обычно имеется не менее трех кранов. В этом случае нивелир и теодолит устанавливаются на кране в середине пролета.

За исходную точку отсчета высот принимается одна из нивелируемых точек подкранового пути. Начальным отсчетом бокового нивелирования является отсчет по горизонтальной рейке в начальной точке. При дискретном движении мостовых кранов рейка устанавливается в необходимых точках на торцах и в середине рельса. Снимаются отсчеты по горизонтальной и вертикальной шкалам рейки. По окончании измерений на одном из рельсовых путей нивелир и теодолит переносятся на противо-

положную площадку крана и устанавливаются в рабочее положение. Высотная съемка с первой нити рельса передается на нивелируемые точки второй нити рельсового пути.

В плановом отношении взаимное положение основных направлений рельсов опирается на измеренные рулеткой расстояния между осями рельс в начале и конце пролета. Камеральная обработка измерений выполняется в следующем порядке.

Высотные отметки определяются по общепринятой методике. Для построения горизонтального профиля подкрановых путей используется следующая методика, сокращающая затраты времени на выполнение измерений, при этом визирный луч теодолита ориентируется произвольно, т.е. первоначальный отсчет по горизонтальной рейке берется произвольный. Труба теодолита визируется по четкому произвольному ориентиру в пределах горизонтальной рейки, и по створу этого ориентира берутся отсчеты по рейке и в дальнейшем осуществляется контроль сохранения положения визирного луча относительно прямой линии, проходящей через две точки (начальную и конечную) участка оси рельсового пути. При принятом упрощении самого процесса измерения горизонтального профиля рельсового пути нарушается параллельность визирного луча оси линии «начальная – конечная точки рельсового пути». Для получения расчетной параллельности линий визирования и оси рельса используется прием, приведенный на рис. 3.

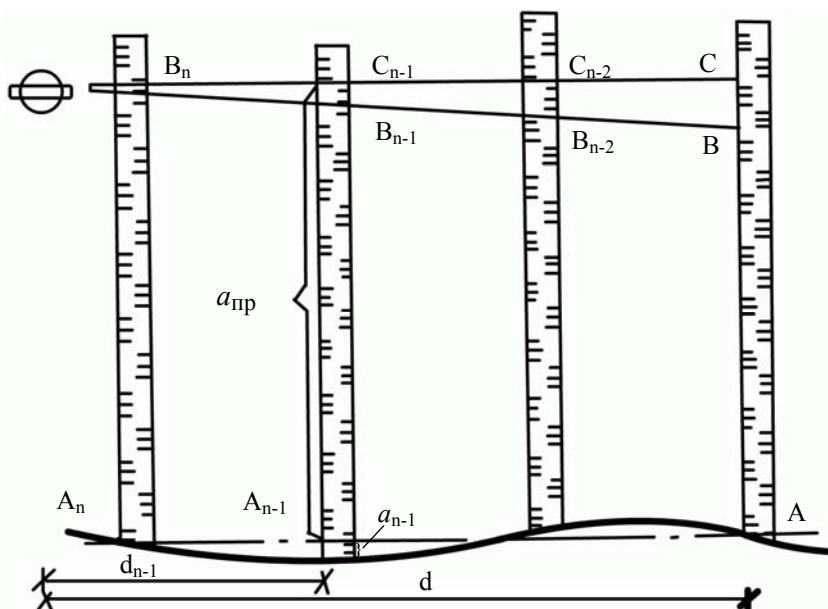


Рис. 3. Схема приведения отсчетов, соответствующих параллельности визирного луча и оси рельсового пути:

AA_n – начало и конец подкранового пути; BB_n – направление визирного луча; CB_n – приведенное направление визирного луча; d – длина подкранового пути от начальной и конечной точек; d_{n-1} – расстояние от теодолита до рейки, установленной на фиксируемой точке; AB , A_nB_n – отсчеты по рейке в начальной и конечной точках

Редукция фактических отсчетов по рейке выполняется в следующем порядке. Определяется величина поправок из решения подобных треугольников по формуле

$$B_{n-1}C_{n-1} = \frac{BC}{d} \cdot d_{n-1},$$

где BC – разность конечного и начального отсчетов по рейке ($A_nB_n - AB$). Определяется приведенный к прямой линии параллельной оси рельсов отсчет:

$$a_{пр} = A_nB_n + B_{n-1}C_{n-1}.$$

Вычисляется величина смещения фактического положения рельса от его оси:

$$a_{см} = A_nB_n - a_{пр}.$$

Представляет интерес использование вертикального базиса при измерении планового и высотного положений надземного подкранового пути.

При измерении планово-высотного положения подкранового пути полукозлового крана КП20УЭ (на территории ТЭЦ-1 г. Пензы) была применена специальная рейка (марка) с вертикальным базисом. Схема устройства марки с вертикальным базисом представлена на рис. 4. Базис « b » равен 1,5 м. Штанга, на которой крепятся верхняя и нижняя марки, устанавливается отвесно с помощью круглого уровня и отвеса.

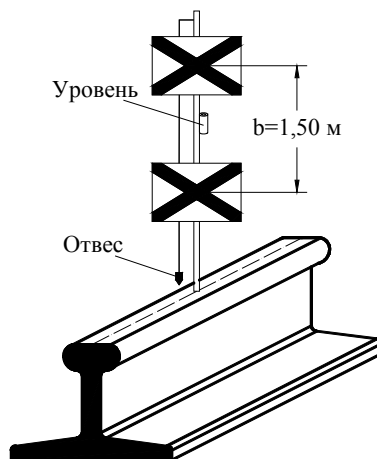


Рис. 4. Схема устройства марки с вертикальным базисом

Для определения положения конечных точек пути использовался способ угловой засечки с конечных точек базиса, разбиваемого на земле, с применением двухштативной системы и теодолитов Т2. На основании полученных результатов определялись координаты конечных точек в условной системе координат. Для удобства вычислений за одну из координатных осей принимают направление базиса. Далее по уже известным формулам определяют координаты наблюдаемых точек.

С конечных точек базиса измерялись горизонтальные и вертикальные углы при наведении на центры марок (верхней и нижней) (рис. 5).

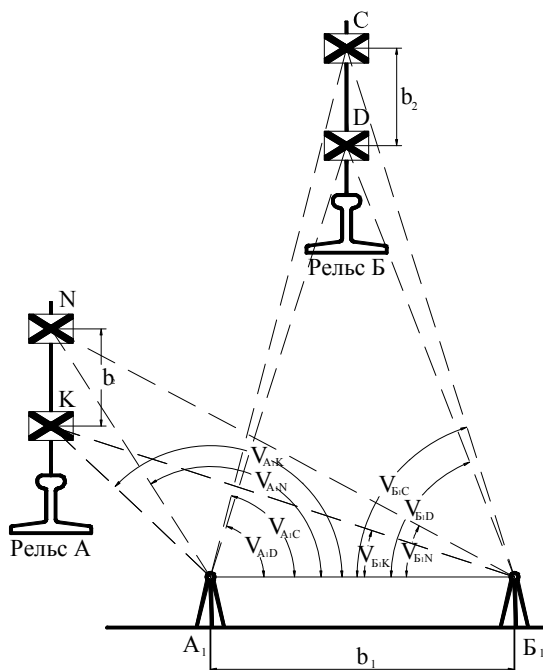


Рис. 5. Схема определения положения головок рельсов с использованием вертикального базиса

По полученным значениям вертикальных углов на точки *С* и *Д* (см. рис. 5) с точки базиса b_1 на земле вычисляют отметки головки рельса (рис. 6), используя формулы

$$\gamma = 180^\circ - \nu_2 - 90^\circ = 180^\circ - \nu_2;$$

$$H_M = H_{A1} + i_{A1} + h_2 - b_2 - m; \quad h_2 = d \operatorname{tg} \nu_2;$$

$$H_M = H_{A1} + h_1 - m; \quad h = \alpha_{A-D} \operatorname{tg} \nu_1,$$

где b_1 и b_2 – базисы, измеренные компарированной рулеткой; m – расстояние от головки рельса до нижнего центра базиса b_2 , измеренные компарированной рулеткой.

Правильность вычисления отметок головок рельсов проверяется с другой точки базиса – B_1 .

Так как расстояние d до определяемых точек с конечных точек базиса получают с достаточно высокой точностью (порядка 1/10000), то и превышения вычисляют с точностью геометрического нивелирования.

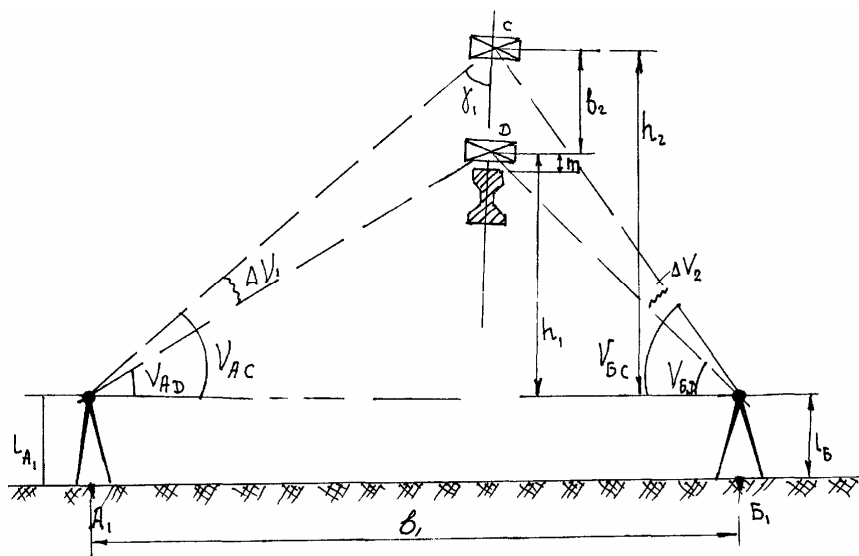


Рис. 6. Схема определения отметки головки рельса по вертикальному базису

Для определения промежуточных точек (головок рельсов) применялась специальная рейка (см. рис. 1).

Теодолит и нивелир устанавливаются на защищенной площадке у конечной точки рельса на расстоянии не менее 2 метров от рельсового пути. Реечник со специальной нивелирной рейкой занимает место на кране, устанавливает рейку на рельс, а наблюдатель по теодолиту берет отсчеты по горизонтальной рейке и нивелиром по вертикальной рейке. Измерения выполняются по каждому рельсу отдельно. Камеральная обработка результатов измерений выполняется по общепринятой методике измерения плановых и высотных профилей подкрановых путей.

Следует обратить внимание на способ улучшения плановой и высотной съемки в неблагоприятных для измерения условиях. Дело в том, что условия работы в промышленном цехе значительно отличаются от полевых условий. Механизмы, работающие в цехе, создают вибрацию, которая отрицательно влияет на точность установки уровня. Поэтому при нивелировании подкрановых путей в цехах необходимо использовать нивелиры с контактными уровнями или с самоустанавливающейся линией визирования.

Кроме того, большее значение на точность измерения оказывает влияние окружающей среды – рефракция. Явление рефракции обусловлено прохождением оптического луча в неоднородной воздушной среде. Вентиляционные установки, источники тепловыделения являются причиной того, что давление и температура воздуха в цехе различны. Учесть эти различия практически очень трудно. Для ослабления влияния рефракции необходимо производить нивелирование при следующих условиях:

- короткими лучами;

- при соблюдении равенства плеч;
- с пола цеха;
- визирный луч не должен проходить вблизи источников тепловыделения и вентиляционных установок;
- в осенне-весенний период, когда система отопления не работает;
- при закрытых окнах, фрамугах и т.п. на пути прохождения визирного луча.

С точки зрения обеспечения безопасной технологии производства плановой и высотной съемки подкрановых путей для ее исполнителей (наблюдателей, речечника), а также с целью повышения производительности труда (что исключает или сокращает время нахождения на подкрановых путях в условиях большой высоты, загазованности и температуры) целесообразно применять методику одновременного измерения плановых и вертикальных профилей непосредственно на полу промышленного цеха. Для этого следует использовать нивелирную рейку с положением отсчетной шкалы, изменяющимся в зависимости от изменения планового и высотного положений измеряемой точки рельса и уровня, а также с дополнительной шкалой, устанавливаемой перпендикулярно первой и подвешиваемой на горизонтальном основании. Эта конструкция в виде 2 взаимно перпендикулярных нивелирных реек подвешивается на корпусе мостового крана вблизи рельса с возможностью движения в горизонтальной плоскости перпендикулярно рельсу и снабжается на одном конце опорным подшипником, которым прижимается к боковой направляющей рельса специальной пружиной.

На рис. 7 представлена блок-схема предлагаемого устройства. Оно содержит горизонтальную 2 и вертикальную 3 шкалы и уровни 4, основание 1, укрепленное в направляющих 6 корпуса крана 7, опорный подшипник 8 основания, пружину 9 для прижатия основания к рельсу 5.

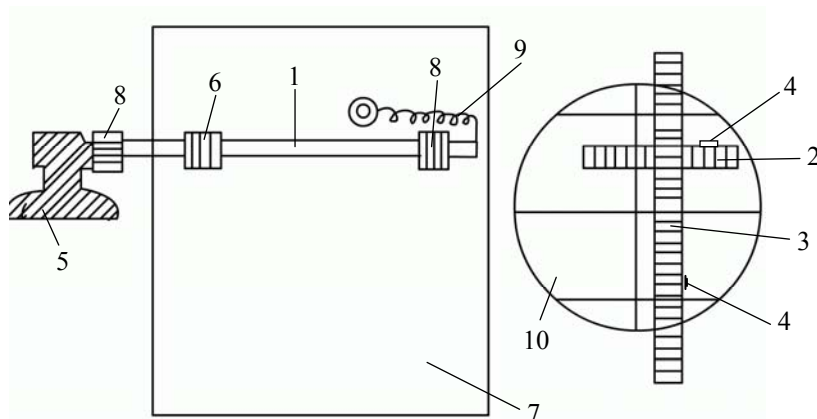


Рис. 7. Схема рейки для измерения профилей подкрановых путей мостовых кранов

Направляющие и основание могут быть выполнены в двух вариантах – съемном и постоянно закрепленном. Изготовленный и апробированный в котельно-турбинном цехе Пензенской ТЭЦ-1 опытный образец съемного варианта предлагаемого устройства прикрепляется к корпусу крана. Принцип установки и работы такого устройства состоит в следующем. Устанавливают основание в отверстие направляющих. Опорным подшипником основание прижимается к рельсу пружиной. Устанавливают рейку со шкалами на заранее определенной высоте.

Теодолит и нивелир или только нивелир устанавливают на твердом покрытии пола цеха в соответствующих местах. При движении крана пятки шкал отображают в пространстве профиль рельса. В необходимых точках снимаются отсчеты по шкалам 2 и 3 в соответствии с полем зрения трубы 10.

Использование предлагаемого устройства по сравнению с известными обеспечивает следующие преимущества:

- безопасность работы наблюдателя и его помощника, т.к. они работают на полу цеха;

- высокую производительность и точность измерений за счет улучшения условий измерения (технических и психологических условий по сравнению с работой на горизонте подкрановых путей);
- конструкция позволяет одним прибором (нивелиром) измерять одновременно вертикальный и горизонтальный профили подкранового пути;
- исключение использования в устройстве контактных датчиков и сложной аппаратуры, проводов и тросиков для каретки.

Вывод

Предлагаемая методика измерения геометрических параметров подкрановых путей мостовых кранов с применением рассмотренного устройства была апробирована на Пензенской ТЭЦ-1 и показала преимущества по сравнению с традиционными методами: обеспечение безопасной технологии производства профилей рельсовых путей, повышение производительности труда и улучшение технических и психологических условий измерений.

Применение данного устройства (с учетом качественного изготовления конструкций устройства и увеличения длины основания) особенно эффективно в цехах, где геодезические измерения на горизонте подкрановых путей из-за высокой температуры (горячие цеха) и высокой загазованности обычными методами невозможны.

Список литературы

1. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций СО 153-34.21.322-2003. – М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2005.
2. Желтков, С.У. Пути повышения точности геодезических измерений при определении осадок сооружений: дис. ... канд. техн. наук / С.У. Желтков. – Краснодар, 2001. – 143 с.
3. Хаметов, Т.И. Геодезические работы при оценке эксплуатационных качеств здания и его конструкции: моногр. / Т.И. Хаметов. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 124 с.

References

1. Methodological guidelines for the organization and conduct of observations of sediments of foundations and deformations of buildings and structures of thermal power plants under construction and operated СО 153-34.21.322-2003. – М.: ТЕСТИ and ORGRES 2005.
2. Zheltkov, S.U. Ways to improve the accuracy of geodetic measurements in determining sediment structures: dis. ... candidate of technical sciences / S.U. Zheltkov. – Krasnodar, 2001. – 143 p.
3. Khametov, T.I. Geodetic work in assessing the performance of the building and its construction: monogr. / T.I. Khametov. – Penza: PGUAS, 2015. – 124 p.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.33

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

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»

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Механика»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Титов Евгений Александрович,
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 Mikhailovich,
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»

Shein Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the Department «Mechanics»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Titov Evgeny Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the Department «Water supply, sewerage
and hydraulic engineering»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД КАТИОННЫМИ ФЛОКУЛЯНТАМИ

Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, А.И. Шеин, Е.А. Титов

Представлены результаты лабораторных исследований по очистке хозяйственно-бытовых сточных вод высокомолекулярными катионными флокулянтами ППС и К-555. Показано, что предварительная обработка сточных вод в преаэраторе с прикреплённой на плоскостной загрузке биопленкой позволяет снизить дозы ППС в 5-7 раз, а дозы К-555 – в 4-8 раз по сравнению с применением этих флокулянтов без преаэрации при обеспечении эффекта очистки после отстаивания по взвешенным веществам до 81 % и по БПК₅ до 53 %. Получены графики зависимостей эффекта снятия БПК₅ от эффекта отстаивания стоков при различных дозах флокулянтов.

Ключевые слова: хозяйственно-бытовые сточные воды, первичное отстаивание, катионные флокулянты, преаэратор, взвешенные вещества, БПК₅

EVALUATION OF DOMESTIC WASTE WATER CLEANING EFFICIENCY WITH APPLICATION OF CATIONIC FLOCCULANTS

B.M. Grishin, M.V. Bikunova, A.I. Shein, E.A. Titov

The results of laboratory studies of domestic wastewater purification by high molecular weight cationic flocculants PPS and K-555 are presented. It has been shown that pretreatment of wastewater in a pre-aerator with biofilm on a flattened load allows to reduce the dose of PPS by 5-7 times, and the dose of K-555 in 4-8 times compared with the use of these flocculants without pre-aeration, providing the cleaning effect after settling on suspended substances up to 81 % and on BOD₅ to 53 %. Dependence graphs of the BOD₅ removal effect from waste water on the settling effect for various doses of flocculants are obtained.

Keywords: domestic waste water, settling, primary clarification, cationic flocculants, pre-aerator, suspended matter, BOD₅

Для улучшения эффекта первичного отстаивания хозяйственно-бытовых сточных вод применяются различные безреагентные и реагентные способы. В качестве безреагентного способа часто используется биокоагуляция примесей с помощью биоплёнки, прикрепленной на затопленной плоскостной загрузке преаэратора [1, 2]. В [3] были рекомендованы следующие параметры работы преаэратора с затопленной плоскостной сетчатой загрузкой:

- удельная площадь загрузки – 20 м²/м³;
- интенсивность аэрации – 5 м³/(м²·ч);
- время аэрации – 60...90 мин.

При данных параметрах обработки сточных вод эффективность снятия БПК₅ после двухчасового отстаивания составляла 35-45 %, а эффект осветления находился в пределах 63-65 %. Эффекты осветления и снятия БПК при первичном отстаивании стоков выше указанных значений могут быть достигнуты только с помощью реагентных способов обработки [4].

Проводились исследования эффективности использования катионных флокулянтов ППС и К-555 для улучшения первичного отстаивания сточных вод. Объектом исследований являлись хозяйственно-бытовые сточные воды, имеющие следующие показатели: рН 7,2-7,4, ХПК 150-220 мг/л, БПК₅ 61,2-101,1 мг/л, NH₄⁺ 5,8-9,7 мг/л, взвешенные вещества 83,4-116,2 мг/л. Для изменения показателей БПК и концентрации взвешенных веществ C₀ в сторону уменьшения в процессе экспериментов сточные воды разбавлялись водопроводной водой.

Испытания проводились на экспериментальной лабораторной установке, в состав которой входили преаэратор, рабочий бак и цилиндры-отстойники. Экспериментальные исследования состояли из двух этапов.

На первом этапе исходная сточная вода в рабочем баке смешивалась при режимах быстрого и медленного перемешивания с различными дозами флокулянтов ППС и К-555, затем вода отстаивалась в цилиндрах-отстойниках с высотой h=500 мм.

На втором этапе экспериментов осуществлялось барботирование стока сжатым воздухом в преаэраторе с затопленной загрузкой, далее сток смешивался в режиме медленного перемешивания с флокулянтами ППС и К-555, после чего производилось первичное отстаивание в цилиндрах.

Рабочий бак в лабораторной установке использовался как в качестве смесителя, так и в качестве камеры хлопьеобразования. Если при быстром перемешивании градиент скорости G изменялся в процессе экспериментов от 100 до 600 с⁻¹ при времени смешения t = 30 с, то при медленном перемешивании градиент скорости и время смешения составляли G= 50 с⁻¹ и t= 20 мин, что соответствовало общепринятым рекомендациям [4].

Результаты экспериментов первого этапа по отстаиванию стоков, обработанных в баке при различных значениях G за время t=30 с флокулянтами ППС и К-555 с дозами 4-10 мг/л, представлены на рис. 1 и 2.

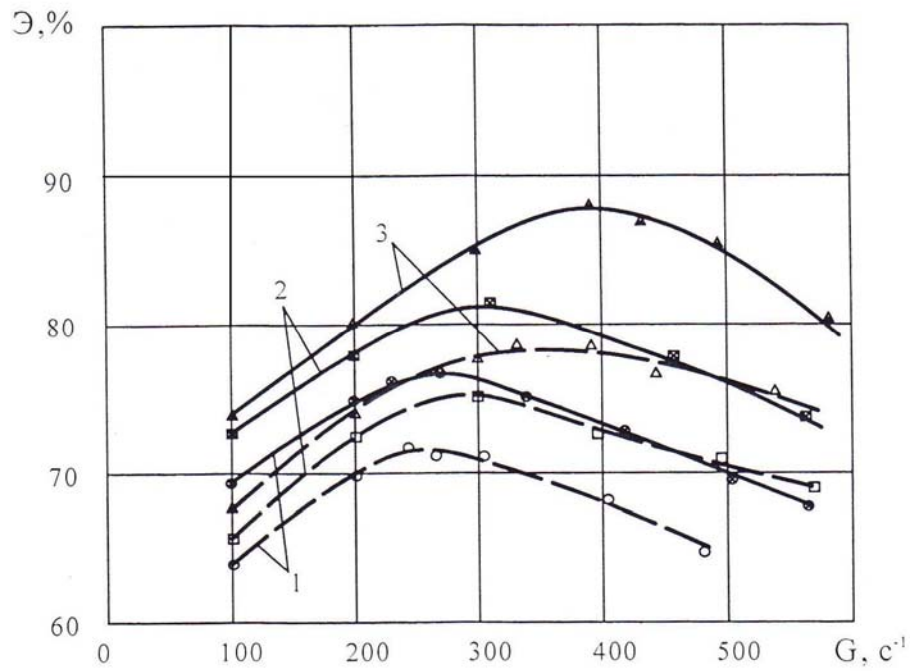


Рис. 1. Зависимость эффекта первичного осветления сточных вод от градиента скорости перемешивания при различных дозах флокулянта ППС:

1 – $D_{\text{ф}}=5 \text{ мг/л}$; 2 – $D_{\text{ф}}=7 \text{ мг/л}$; 3 – $D_{\text{ф}}=10 \text{ мг/л}$;
 ——— для $C_0=92-96 \text{ мг/л}$; ---- для $C_0=54-58 \text{ мг/л}$

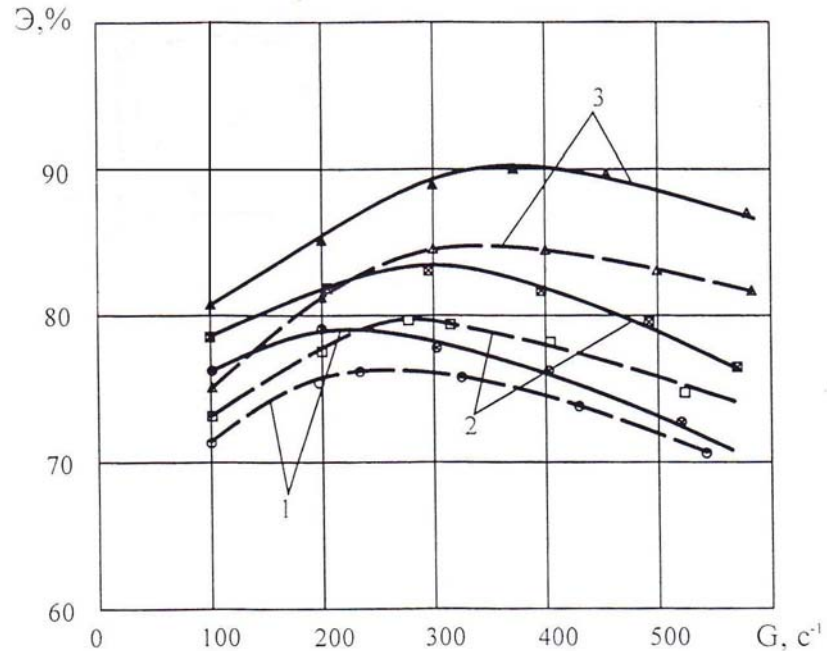


Рис. 2. Зависимость эффекта первичного осветления сточных вод от градиента скорости перемешивания при различных дозах флокулянта К-555:

1 – $D_{\text{ф}}=4 \text{ мг/л}$; 2 – $D_{\text{ф}}=6 \text{ мг/л}$; 3 – $D_{\text{ф}}=8 \text{ мг/л}$;
 ——— для $C_0=90-95 \text{ мг/л}$; ---- для $C_0=50-53 \text{ мг/л}$

Анализ полученных графиков позволяет сделать вывод о том, что увеличение доз флокулянта ППС с 5 до 10 мг/л повышает эффект осветления с 76 до 87 % при $C_0 = 92 - 96$ мг/л, при этом градиент скорости перемешивания, позволяющий достичь наилучшего эффекта осветления, увеличивается пропорционально дозе флокулянта ППС с 270 до 390-400 c^{-1} . Для концентраций $C_0 = 54 - 58$ мг/л эффективность первичного осветления при этих дозах флокулянта ППС снижается до диапазона 72-79 %. Увеличение доз флокулянта К-555 с 4 до 8 мг/л повышает эффект осветления стоков с 79 до 90,5 % при $C_0 = 90 - 95$ мг/л. Полученные значения эффекта осветления при $C_0 = 50 - 53$ мг/л составляют соответственно 76 % при $D_{\phi} = 4$ мг/л и 85 % при $D_{\phi} = 8$ мг/л. Градиент скоростей перемешивания, обеспечивающий максимальный эффект осветления для флокулянта К-555, находился в пределах от 440 c^{-1} для $D_{\phi} = 4$ мг/л до 580 c^{-1} для $D_{\phi} = 8$ мг/л.

Несмотря на весьма значительный полученный эффект осветления малоконцентрированных стоков, дозы флокулянтов на данном этапе экспериментов были оценены как высокие, вследствие недостаточных условий для предварительного хлопьеобразования.

Для улучшения условий предварительного комплексобразования (биокоагуляции) примесей на втором этапе экспериментов использовался преаэратор с затопленной плоскостной загрузкой из сетки ССБ, имеющей удельную поверхность $F_{уд} = 20$ m^2/m^3 . Интенсивность и время аэрации составляли соответственно $\omega = 5$ $m^3/(m^2 \cdot ч)$ и $t_{аэр} = 30$ мин.

Концентрация прикрепленной биопленки из микроорганизмов, которая наращивалась в искусственных условиях на плоскостной загрузке, составляла 58-63 $г/м^2$ по сухому веществу. Результаты экспериментов, полученные на этом этапе, представлены на рис. 3-4.

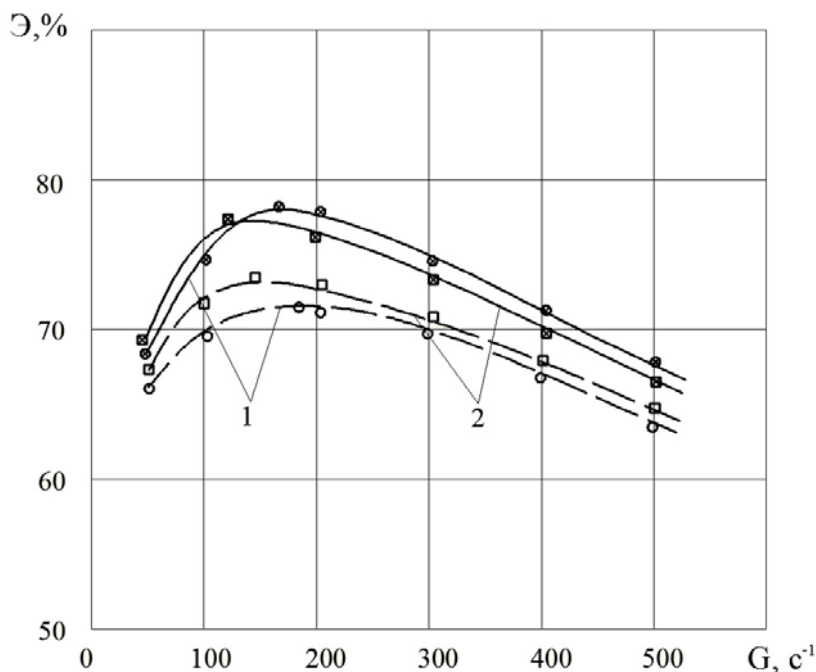


Рис.3. Зависимость эффекта первичного осветления сточных вод, предварительно обработанных в преаэраторе с $F_{уд}=20$ m^2/m^3 , от градиента скорости для флокулянта ППС ($D_{\phi}=4$ мг/л) при различном времени смешения: 1 – при $t = 30$ с; 2 – при $t = 60$ с; — — — для $C_0 = 92 - 94$ мг/л; ---- для $C_0 = 51 - 54$ мг/л

Как показал анализ полученных данных, предварительная биокоагуляция сточных вод позволяет достичь эффекта осветления 65–79 % при небольших дозах флокулянтов. В случае использования флокулянта ППС с дозой 1,5 мг/л при исходной концентрации предварительно скоагулированной прикрепленной биопленкой взвеси стока $C_0 = 92–94$ % эффективность первичного осветления составила 76–77 % (см. рис.3). Такой же эффект осветления был достигнут при дозе 5 мг/л без биокоагуляции в преаэраторе (см. рис. 1).

Весьма высокий эффект осветления был получен при дозе флокулянта 1,0 мг/л ($\mathcal{E} = 73–74\%$ при $C_0 = 90–93$ мг/л и $\mathcal{E} = 68–69\%$ при $C_0 = 50–52$ мг/л). Снижение дозы ППС до 0,5 мг/л уменьшило эффект удаления взвеси до 70 % при $C_0 = 92–96$ мг/л и до 65 % при $C_0 = 52–57$ мг/л, что свидетельствовало о замедлении процессов комплексообразования при добавлении малых доз полимера.

Увеличение времени смешения с 30 до 60 с при $C_0 = 90–96$ мг/л практически не привело к улучшению кинетики осветления взвеси, однако для концентраций $C_0 = 50–57$ мг/л эффект осветления повышался в среднем на 2–3 % для доз флокулянта ППС от 0,5 до 1,5 мг/л. Оптимальные значения градиента скоростей перемешивания G для указанных дозировок ППС находились в пределах 150–180 с⁻¹.

При использовании катионного флокулянта К-555 для интенсификации осветления предварительно скоагулированных в преаэраторе сточных вод весьма высокие показатели эффекта осветления (до 79 %) были получены при дозе 0,5 мг/л и $C_0 = 95–98$ мг/л (рис. 4). Аналогичный эффект осветления наблюдался при $D_\phi = 4$ мг/л без биокоагуляции стоков (см. рис. 2).

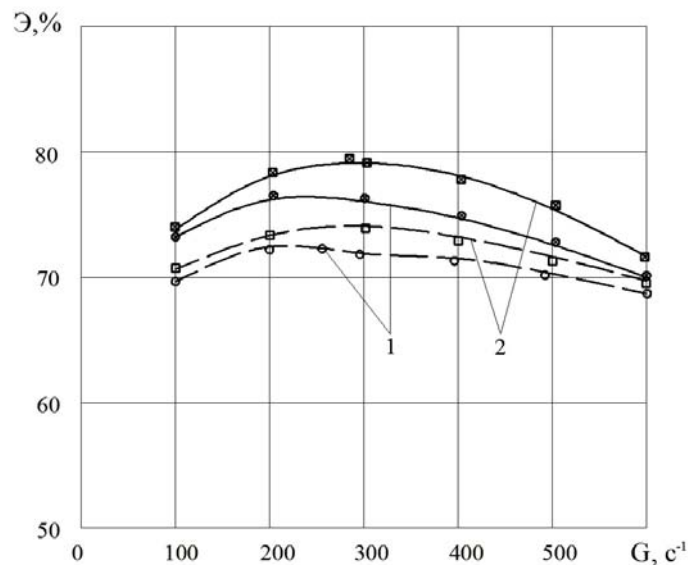


Рис.4. Зависимость эффекта первичного осветления сточных вод, предварительно обработанных в преаэраторе с $F_{уд}=20$ м²/м³, от градиента скоростей для флокулянта К-555 ($D_\phi=0,5$ мг/л) при различном времени смешения:

1 – при $t = 30$ с; 2 – при $t = 60$ с;

— для $C_0 = 95–98$ мг/л; ---- для $C_0 = 48–52$ мг/л

Уменьшение расхода флокулянта К-555 до значения $D_\phi = 0,3$ мг/л дало ощутимое снижение эффекта осветления (в среднем на 4–6 %) как для концентраций $C_0 = 94–98$ мг/л, так и для $C_0 = 48–53$ мг/л по сравнению с данными, полученными при $D_\phi = 0,5$ мг/л.

Необходимо отметить, что увеличение времени смешения t с 30 до 60 с позволило улучшить эффект осветления для всего диапазона начальных концентраций взвеси ($C_0 = 48–98$ мг/л) в среднем на 2–3 %. Оптимальные значения градиента скорости перемешивания G для полимера К-555 находились в пределах 350–400 с⁻¹.

На рис. 5 представлены графики корреляции между эффектами осветления и снятия БПК₅ для сточных вод, обработанных флокулянтами ППС и К-555.

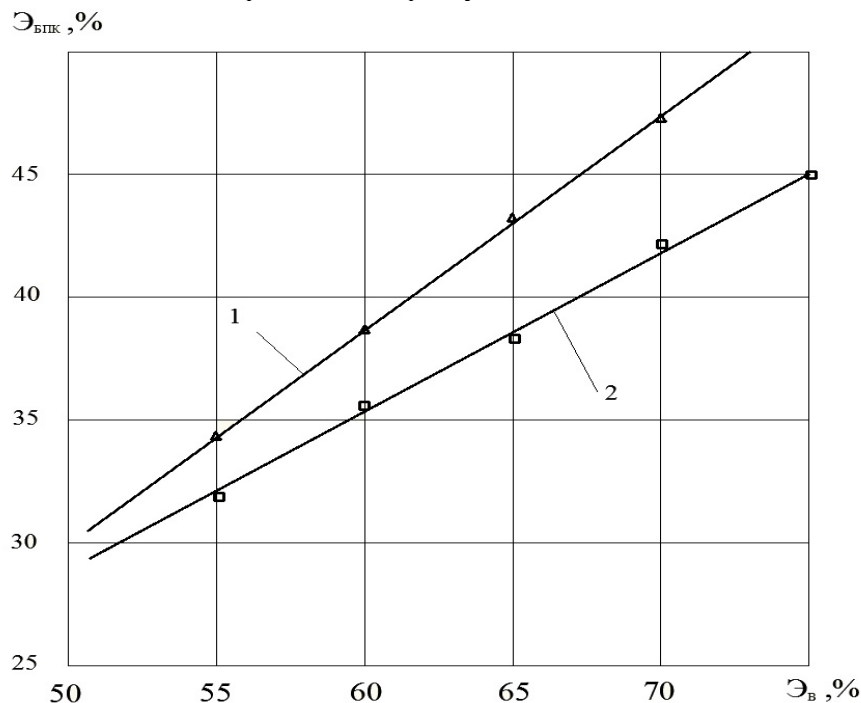


Рис. 5. Зависимость между эффектами осветления и снятия БПК₅ для сточных вод после биокоагуляции и обработки флокулянтами:

1 – К-555 при $D_{\text{ф}}=0,5$ мг/л для $C_0=90–98$ мг/л; 2 – ППС при $D_{\text{ф}}=1$ мг/л

Из графиков видно, что зависимость эффекта снятия БПК₅ от эффекта осветления воды имеет линейный характер.

Лучший эффект снятия БПК₅ для флокулянта К-555 (до 53 %) может быть объяснен его большей молекулярной массой по сравнению с полимером ППС, обеспечивающей более высокую вероятность извлечения из стоков коллоидных органических загрязнений.

ВЫВОДЫ

1. Добавление катионных флокулянтов к исходному стоку после его обработки в преаэраторе с затопленной загрузкой ($F_{\text{уд}}=20$ м²/м³, $\omega = 5$ м³/(м²·ч), $t_{\text{аэп}} = 30$ мин) позволяет получить эффект первичного осветления: 73–77 % – для доз полимера ППС 1–1,5 мг/л и 79–81 % – для доз полимера К-555 0,5–1 мг/л при начальных концентрациях взвеси 47–98 мг/л. Оптимальные значения градиентов скоростей в смесителе для флокулянта ППС находятся в пределах 150–180 с⁻¹ при $t=30$ с, для флокулянта К-555 – в пределах 350–400 с⁻¹ при $t=60$ с и последующем перемешивании стока в камере хлопьеобразования при $G = 50$ с⁻¹, $t = 20$ мин.

2. Получены графики зависимостей эффекта снятия БПК₅ от эффекта осветления стоков при дозах флокулянтов ППС и К-555 соответственно 1,0 и 0,5 мг/л. Наиболее высокий эффект снятия БПК₅ (до 53 %) обеспечивается при использовании катионного полимера К-555, обладающего большей молекулярной массой и лучше связывающего в агломераты органические коллоидные частицы.

3. Технология реагентной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод катионными флокулянтами с первичной обработкой в преаэраторе с затопленной загрузкой

может быть рекомендована к применению на компактных очистных сооружениях локальных объектов (домов отдыха, санаториев и пр.).

Список литературы

1. Расчёт и проектирование компактных установок для очистки сточных вод локальных объектов / Б.М. Гришин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 136 с.
2. Гришин, Б.М. Экспериментальные исследования процесса первичного отстаивания сточных вод, предварительно обработанных в преаэраторе / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, А.О. Абрамова // Приволжский научный вестник. – 2015. – № 3–1 (43). – С. 32–35.
3. Первичное отстаивание сточных вод, обработанных в преаэраторе с затопленной загрузкой / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, А.И. Шеин, Е.А. Титов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 1. – С. 132–137.
4. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – М: Изд-во АСВ, 2006. – 704 с.

References

1. Calculation and design of compact plants for wastewater treatment of local objects / B.M. Grishin [etc.]. – Penza: PGUAS, 2011. – 136 p.
2. Grishin, B.M. Experimental studies of primary sedimentation process of waste water pretreated in a pre-aerator / B.M. Grishin, M.V. Bikunova, A.O. Abramova // Privolzhsky scientific bulletin. – 2015. – No. 3–1 (43). – P. 32–35.
3. Primary settling of wastewater preliminary treated in pre-aerator with flooded load / B.M. Grishin, M.V. Bikunova, A.I. Shein, E.A. Titov // Regional architecture and construction. – 2017. – No. 1. – P. 132–137.
4. Voronov, Yu.V. Wastewater and wastewater treatment / Yu.V. Voronov, S.V. Yakovlev. – M.: Publishing house of the DIA, 2006. – 704 p.

УДК 691.554

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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: koshev@pguas.ru

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

Демьянова Валентина Серафимовна,
доктор технических наук, профессор

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

Koshev Alexander Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor of the
department «Information and computing
systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

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

Dem'yanova Valentina Serafimovna,
Doctor of Sciences, Professor

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

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МАССОПЕРЕНОСА В ОТДЕЛОЧНОМ СЛОЕ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ В ПРОЦЕССЕ УВЛАЖНЕНИЯ

А.Н. Кошев, В.И. Логанина, В.С. Демьянова, М.В. Фролов

Изложены сведения о процессах массопереноса в отделочных покрытиях стен зданий. Представлена математическая модель процесса увлажнения композита на основе сухой строительной смеси. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных, показана их хорошая согласованность. Показано, что теплоизоляционное декоративное покрытие, полученное с использованием в качестве наполнителя зольных алюмосиликатных микросфер, обладает большей трещиностойкостью в процессе увлажнения.

Ключевые слова: массоперенос, отделочный состав, зольные алюмосиликатные микросферы, вспученный вермикулитовый песок, распределение влагосодержания по сечению, модель влагопоглощения

REGULARITIES OF MASS TRANSFER IN THE FINISHING LAYER ON THE BASIS OF A HEAT-INSULATING DRY CONSTRUCTION MIXTURE IN THE PROCESS OF MOISTENING

A.N. Koshev, V.I. Loganina, V.S. Dem'yanova, M.V. Frolov

Information on mass transfer processes in finishing coatings of walls of buildings is presented. A mathematical model of the process of moistening a composite on the basis of a dry construction mix is presented. Comparison of calculated and experimental data is made. It is shown that the heat-insulating decorative coating obtained using ash silica-alumina microspheres as a filler has a greater crack resistance in the process of moistening.

Keywords: mass transfer, finishing composition, ash aluminosilicate microspheres, expanded vermiculite sand, distribution of moisture content along the section, moisture absorption model

Продолжительность срока службы отделочных покрытий наружных стен зданий зависит от характера воздействия различных климатических факторов, которые способны вызывать температурно-влажностные деформации внутри слоя отделки. В процессе эксплуатации стен из газобетона часто наблюдается частичное разрушение отделочного покрытия из-за конденсации влаги на границе отделочное покрытие – газобетон [1]. Эксплуатационные свойства пористых материалов в значительной степени определяются интенсивностью происходящих в них процессов теплопереноса [2–4]. В процессе увлажнения материала среды в каждой точке пористого пространства происходит процесс адсорбции влаги, который имеет свои макро- и микроскопические закономерности. Описание макрокинетики увлажнения пористой системы как однородной среды при определенных условиях протекания адсорбционных процессов предложено Я.Б. Зельдовичем [5]. В соответствии с этой теорией увлажняемая пористая среда может рассматриваться как однородная, в каждой точке которой протекает кинетический процесс увлажнения.

Учет особенности массопереноса в стеновых конструкциях, в том числе и в отделочном слое, позволит подобрать оптимальное решение при выборе вида защитно-декоративного покрытия.

Для отделки стен из газобетона нами предложен состав теплоизоляционной сухой строительной смеси (ССС) следующего состава: известь-пушонка, белый цемент, модифицирующая добавка на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция, молотые отходы производства газобетона, различные модифицирующие добавки, легкий высокопористый наполнитель [6,7,8]. В качестве высокопористого наполнителя предложено применять зольные алюмосиликатные микросферы (состав 3). Были исследованы процессы массопереноса в отделочном покрытии. Для сравнения в работе также исследованы процессы массопереноса в цементно-песчаной штукатурке с применением кварцевого песка (состав 1), а также в штукатурке с использованием вермикулитового песка (состав 2).

Были изготовлены образцы в виде дисков диаметром 100 мм и толщиной 5 мм. Образцы, полученные с использованием состава 1, твердели при температуре 18-20°C в водных условиях; образцы, полученные с использованием отделочных составов 2 и 3, твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18-20°C и относительной влажности 50-60 %. Все образцы набирали прочность в течение 28 суток. Затем их высушивали до постоянной массы при температуре 100-105 °С.

Исследуемый образец состоял из 4 плоскопараллельных дисков указанных размеров. Боковые поверхности исследуемых образцов покрытий влагоизолировали парафином. Образцы размещали между двумя тепловыми камерами (рис. 1). В камерах поддерживались следующие температурно-влажностные условия: в камере 1 – температура $t_1=60^\circ\text{C}$, относительная влажность $\varphi=100\%$, в камере 2 – температура $t_2=20^\circ\text{C}$, относительная влажность $\varphi=50\%$. Для предотвращения потерь тепла вся экспериментальная установка теплоизолировалась. В ходе эксперимента проводилось измерение текущего интегрального и дифференциального влагосодержания весовым методом. Результаты исследований приведены на рис. 1.

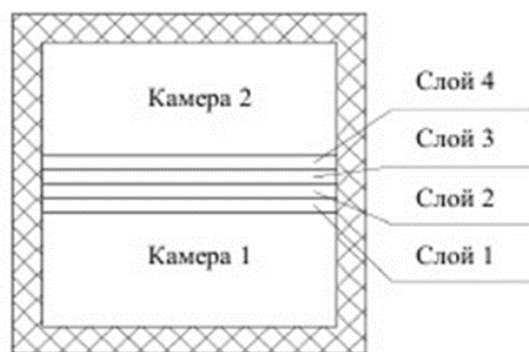


Рис. 1. Схема установки

На рис. 2 представлена зависимость влагосодержания u покрытия на основе состава 3 от времени увлажнения τ . Из-за разности величин упругости водяного пара с разных сторон образца наблюдается диффузия водяного пара через покрытие в сторону пониженных температур. В данном случае направление градиента влагосодержания совпадает с направлением температурного градиента. Установлено, что слой 1 характеризуется наиболее высоким значением максимального влагосодержания u . После 18 часов влагопоглощения влагосодержание составляет $u=168,2 \cdot 10^{-3}$ кг/кг (рис. 2, кривая 1). Величина влагосодержания u 2-, 3- и 4-го слоев последовательно уменьшалась по мере их удаления от камеры 1.

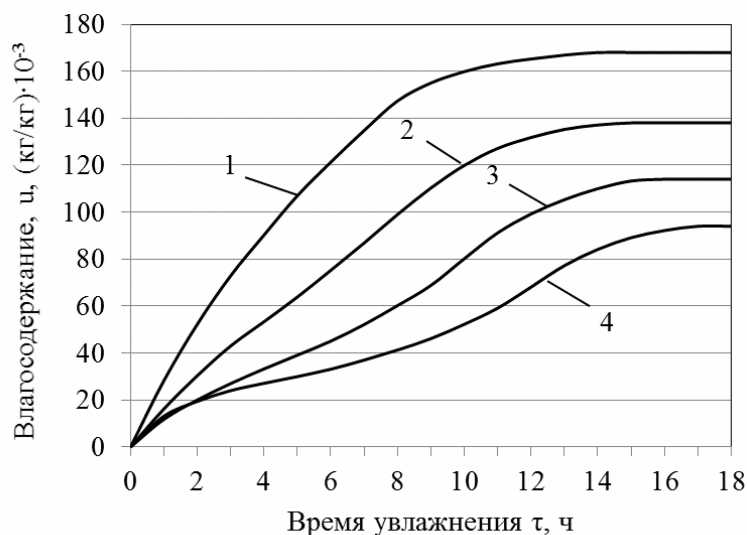


Рис. 2. Зависимость влагосодержания в отделочном покрытии (наполнитель – зольные микросферы алюмосиликатные) от времени увлажнения:
1 – 1-й слой, 2 – 2-й слой, 3 – 3-й слой, 4 – 4-й слой

Анализ данных, приведенных на рис.2, свидетельствует о том, что закономерности увлажнения при заданных влажностях воздуха могут быть описаны уравнением

$$w = w_{\max} [1 - \exp(-bx)], \quad (1)$$

где w_{\max} – максимальное значение влагосодержания, кг/кг; b – константа скорости увлажнения, ч^{-1} .

Уравнение (1) имеет вид:

- для слоя 1

$$w = 188,057 [1 - \exp(-0,174x)]; \quad (2)$$

- для слоя 2

$$w = 173,933 [1 - \exp(-0,104x)]; \quad (3)$$

- для слоя 3

$$w = 170,422 [1 - \exp(-0,0627x)]; \quad (4)$$

- для слоя 4

$$w = 169,528 [1 - \exp(-0,0422x)]. \quad (5)$$

Коэффициент корреляции составляет от 0,9822 до 0,9976.

Анализ уравнений (2)-(5) показывает, что по мере удаления слоя от зоны с более высокой влажностью (в данном случае 100 %) наблюдается уменьшение значения константы скорости увлажнения от 0,1740 до 0,0422 ч⁻¹.

На рис. 3 представлены данные, характеризующие распределение влагосодержания по сечению образца покрытия.

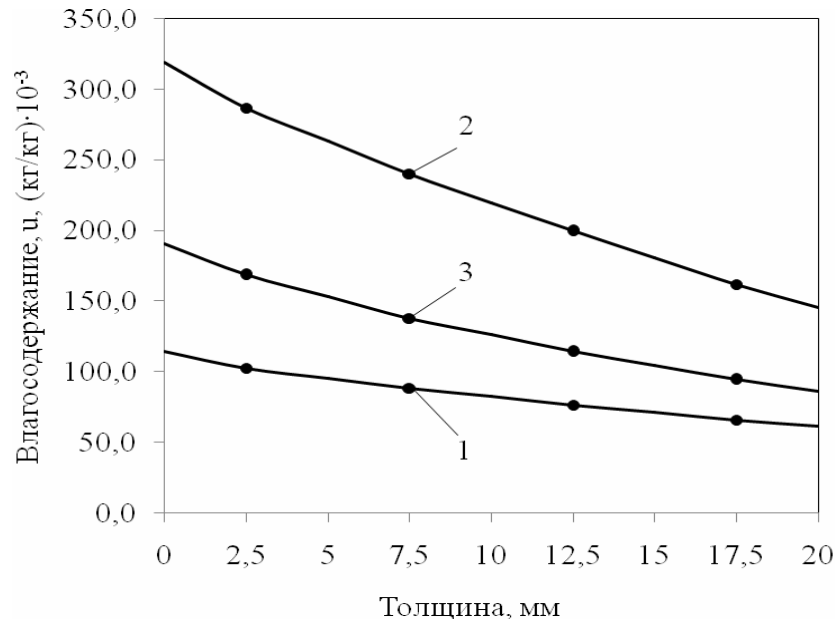


Рис. 3. Зависимость распределения влагосодержания в отделочном покрытии от времени увлажнения:

- 1 – состав 1 (цементно-песчаный); 2 – состав 2 (вспученный вермикулитовый песок);
3 – состав 3 (зольные микросферы алюмосиликатные)

Установлено, что в процессе увлажнения отделочного покрытия на основе состава 3 влагосодержание по сечению материала распределено неравномерно. Наибольший перепад влагосодержания между крайними 1-м и 4-м слоями составил $108,9 \cdot 10^{-3}$ кг/кг, он наблюдался спустя 10 часов с момента увлажнения.

Слой 1 характеризуется наиболее высоким значением максимального влагосодержания u . После 18 часов увлажнения кривые влагосодержания всех слоев покрытия на основе состава 3 вышли на асимптоту, при этом влагосодержание 1-го слоя составило $u=168,2 \cdot 10^{-3}$ кг/кг. Влагосодержание в покрытии на основе состава 3 распределено более равномерно по сечению материала. В данном покрытии ниже вероятность возникновения трещин из-за неравномерного распределения влаги по толщине слоя отделки.

Покрытие на основе состава 2 активно поглощало влагу на 4 часа дольше, и спустя 22 часа увлажнения влагосодержание 1-го слоя составило $u=286,5 \cdot 10^{-3}$ кг/кг. Более высокое максимальное влагосодержание образцов покрытий на основе состава 2 объясняется преобладанием в поровой структуре данных композитов открытой пористости. Их общая пористость составляет 75,2 %, в том числе открытая пористость – 49,1 %, закрытая пористость – 26,1 %. Общая пористость композитов, полученных с использованием состава 3, составляет 66,4 %, в том числе открытая пористость – 31,8 %, закрытая пористость – 34,6 %.

Влагосодержание в покрытии на основе состава 2 распределено крайне неравномерно по сечению материала. При этом наибольший перепад влагосодержания между крайними 1-м и 4-м слоями спустя 10 часов увлажнения составил $201,0 \cdot 10^{-3}$ кг/кг. Наибольший перепад влагосодержания между крайними 1-м и 4-м слоями покрытия на основе состава 1 составил $60,2 \cdot 10^{-3}$ кг/кг, он наблюдался спустя 8 часов с момента начала увлажнения.

Таким образом, исследование послойного влагосодержания в процессе увлажнения позволяет выбрать оптимальный состав теплоизоляционной сухой смеси, покрытия на основе которого обладают стойкостью к трещинообразованию в процессе увлажнения.

В результате проведенных исследований установлено, что теплоизоляционное покрытие, полученное с использованием в качестве наполнителя зольных алюмосиликатных микросфер, способно лучше противодействовать температурно-влажностным деформациям, возникающим в слое отделки.

Список литературы

1. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works / V.S. Lesovik [etc.]//Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9, Issue 12. – P.1100–1105.

2. Ватин, В.И. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков / В.И. Ватин, А.С. Горшков, А.В. Глумов // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №1. – С.28–33.

3. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле / С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, А.С. Горшков //Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №6. – С.19–33.

4. Лыков, А.В. Тепломассообмен / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1972. – 558 с.

5. Зельдович, Я.Б. К теории реакции на пористом или порошкообразном материале / Я.Б. Зельдович // ЖФХ. – 1939. – Т.13. – С.163.

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. Логанина, В.И. Оценка трещиностойкости покрытий на основе теплоизоляционного состава для отделки газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1. – С.30–35.

8. Логанина, В.И. Тонкодисперсный наполнитель на основе силикатов кальция для известковых смесей / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №5. – С.144–147.

References

1. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works / V.S. Lesovik [etc.]//Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 9, Issue 12. – P.1100–1105.

2. Vatin, V.I. Influence of physico-technical and geometric characteristics of plaster coatings on the moisture regime of homogeneous walls of aerated concrete blocks / V.I. Vatin, A.S. Gorshkov, A.V. Glumov // Engineering and Construction Journal. – 2011. – No. 1. – P.28–33.

3. Evaluation of the moisture regime of a multi-layered wall structure in the annual cycle / S.V. Kornienko, N.I. Vatin, M.R. Petrichenko, A.S. Gorshkov // Construction of unique buildings and structures. – 2015. – No. 6. – P. 19–33.

4. Lykov, A.V. Heat and Mass Transfer / A.V. Lykov. – M.: Energia, 1972. – 558 p.

5. Zel'dovich, Ya.B. On the Theory of Reaction on a Porous or Powdered Material / Ya.B. Zel'dovich // ZhFKh. – Vol. 13. – 1939. – 163 p.

6. Loganina, V.I. Calcareous composite binder with the use of an additive based on aluminosilicate filler / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, M.V. Frolov // Bulletin of Belgorod State University named after V.G. Shukhov. – 2015. – No. 6. – P.70–73.

7. Loganina, V.I. Evaluation of the crack resistance of coatings based on the thermal insulation composition for finishing aerated concrete / V.I. Loganina, M.V. Frolov // Regional Architecture and Construction. – 2017. – No. 1. – P. 30–35.

8. Loganina, V.I. Fine-dispersed filler based on calcium silicates for calcareous mixtures / V.I. Loganina, M.V. Frolov // Bulletin of Civil Engineers. – 2015. – No. 5. – P. 144–147.

УДК 621.6.036

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

410054, Россия, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77,
тел.: (8452) 51-50-18

Усачев Александр Прокофьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Теплогасоснабжение,
вентиляция, водообеспечение и прикладная
газодинамика»

E-mail: usachev-ap@mail.ru

АО "Гипрониигаз".

410012, Россия, г. Саратов,
проспект им. Кирова С.М., д. 54,
тел.: (845-2) 74-94-95

Шурайц Александр Лазаревич,
доктор технических наук, генеральный
директор АО «Гипрониигаз»

E-mail: Shuraits@niigaz.ru

Салин Дмитрий Валерьевич,
начальник отдела испытаний и внедрения
новой техники, материалов и технологий
НТЦ АО «Гипрониигаз»

Усуев Заур Мухтарович,
заместитель начальника отдела испытаний
и внедрения новой техники, материалов
и технологий НТЦ АО «Гипрониигаз»

*Saratov State Technical University named
after Gagarin Yu.A.*

410054, Russia, Saratov,
77, Politechnicheskaya St.,
tel.: (8452) 51-50-18

Usachev Alexander Prokofievich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Heat and Gas Supply,
Ventilation, Water Supply and Applied
Hydrogasodynamics»

E-mail: usachev-ap@mail.ru

Joint Stock Company "Giproniigas"

410012, Russia, Saratov,
54, Kirov Avenue,
tel.: (845-2) 74-94-95

Shurayts Alexander Lazarevich,
Doctor of Sciences, General Director of JSC
«Gipronigas»

E-mail: Shuraits@niigaz.ru

Salin Dmitry Valerievich,
Head of Testing and Implementation of New
Equipment, Materials and Technologies
Scientific and Technical Center Giproniigaz JSC

Usuyev Zaur Mukhtarovich,
Deputy chief of Testing and Implementation of
New Equipment, Materials and Technologies
Scientific and Technical Center Giproniigaz JSC

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, Д.В. Салин, З.М. Усуев

Приведены основные элементы устройства и принципы функционирования газовых фильтров высокой пропускной способности, состоящих из нескольких цилиндрических фильтрующих устройств, расположенных последовательно на одной оси. Датчики перепада давления устанавливаются и замеры производятся непосредственно на фильтрующих устройствах.

Ключевые слова: газовый фильтр, цилиндрические фильтрующие устройства, обоснование, основные принципы, функционирование, высокая пропускная способность

BASIC PRINCIPLES OF ASSEMBLY AND OPERATION OF GAS CYLINDRICAL FILTERING DEVICES OF HIGH CAPACITY

A.P. Usachev, A.L. Shuraits, D.V. Salin, Z.M. Usuev

The paper describes the main elements of the device and the principles of the operation of gas filters of high throughput, consisting of several cylindrical filtering devices arranged in series on one axis. Differential pressure sensors are installed and measurements are made directly on the filter devices.

Keywords: gas filter, cylindrical filtering devices, justification, basic principles, operation, high throughput

На сегодня в практике газораспределения отсутствуют конструкции цилиндрических фильтров большой пропускной способности, обеспечивающие компактное и экономичное размещение цилиндрических фильтрующих устройств (ЦФУ) во внутреннем объеме и требуемую точность замера перепада давления на ЦФУ.

В соответствии с рекомендациями [1] минимальная металлоемкость цилиндрических фильтров обеспечивается при соотношении высоты корпуса H к диаметру D (рис. 1), равном 4,5. Однако в этом случае высота ЦФУ существующей конструкции в виде одного неразборного блока высотой $H_{цфу}$ составит 65 % от высоты корпуса фильтра. Для извлечения из корпуса такого ЦФУ при проведении его технического обслуживания необходимо предусматривать дополнительную высоту помещения, равную величине $H_{цфу}$. В результате увеличиваются площадь ограждающих конструкций и расход тепловой энергии на отопление дополнительной части помещения газорегуляторного пункта (ГРП). В целях сокращения затрат при строительстве наружных ограждающих конструкций помещения предложен следующий принцип установки (патент № RU 158000 U1 [2]): вместо одного неразборного ЦФУ высотой $H_{цфу}$ применено несколько устройств меньшей высоты (количество $n_{цфу}$), установленных последовательно один на другой, высота каждого из них $h_{цфу} = H_{цфу}/n_{цфу}$.

Увеличив количество установленных на вертикальной оси ЦФУ, можно производить их демонтаж, поочередно извлекая и поднимая над верхней отметкой фильтра на высоту $h_{цфу}$ (см. рис. 1). Это, в свою очередь, позволяет уменьшить высоту наружных стен до величины, необходимой для извлечения единичного ЦФУ, что приводит к снижению материалоемкости и капитальных вложений.

Вместе с тем с увеличением количества вертикально установленных ЦФУ возрастают капитальные вложения на изготовление, поскольку вместо одного ЦФУ производится $n_{цфу}$ ЦФУ. В этом случае увеличиваются количество кольцеобразных оснований и крышек для крепления фильтрующей и опорных сеток, расход материалов, например связующего эпоксидного компаунда, соответственно возрастают капитальные вложения в их сборку, изготовление и эксплуатационные затраты на монтаж и демонтаж струбины, соединяющей $n_{цфу}$ ЦФУ в единый блок и обеспечивающей необходимую прочность и устойчивость конструкции в целом [2].

В целях определения оптимального количества ЦФУ, которому соответствуют минимальные дополнительные интегральные затраты в ограждающие конструкции помещения, была разработана математическая модель [3].

В соответствии с приведенной моделью были выполнены расчеты по определению оптимального количества ЦФУ для фильтра диаметром входного и выходного патрубков 350 мм, расположенного в помещении ГРП. Результаты расчетов показали, что оптимальное количество ЦФУ, размещаемых во внутреннем объеме, составляет $n_{цфу-опт} = 3,0$. Результаты дополнительно произведенных расчетов позволяют сделать вывод, что с уменьшением диаметра входного и выходного патрубков фильтра значение $n_{цфу-опт}$ уменьшается.

Общий вид предложенных конструкций цилиндрического фильтра оптимальной формы и ЦФУ 9, 11 и 12 сетчатого типа, установленных последовательно на одной оси, производства АО «Гипрониигаз», с диаметром входного и выходного патрубков 350 мм, приведен на рис. 2. На виде «Б» изображение ЦФУ 9, 11 и 12 увеличено, по сравнению с корпусом фильтра, для детального рассмотрения.

Опыт эксплуатации газораспределительных систем указывает на достаточно частые случаи возникновения аварий, связанных с разрушением ЦФУ и обусловленных превышением предельной величины перепада давления на ЦФУ вследствие засорения ячеек фильтрующих сеток. Однако в настоящее время отсутствуют достоверные способы замера перепада давления непосредственно на ЦФУ, что заставляет производителей изготавливать новые конструкции, позволяющие осуществить их реализацию.

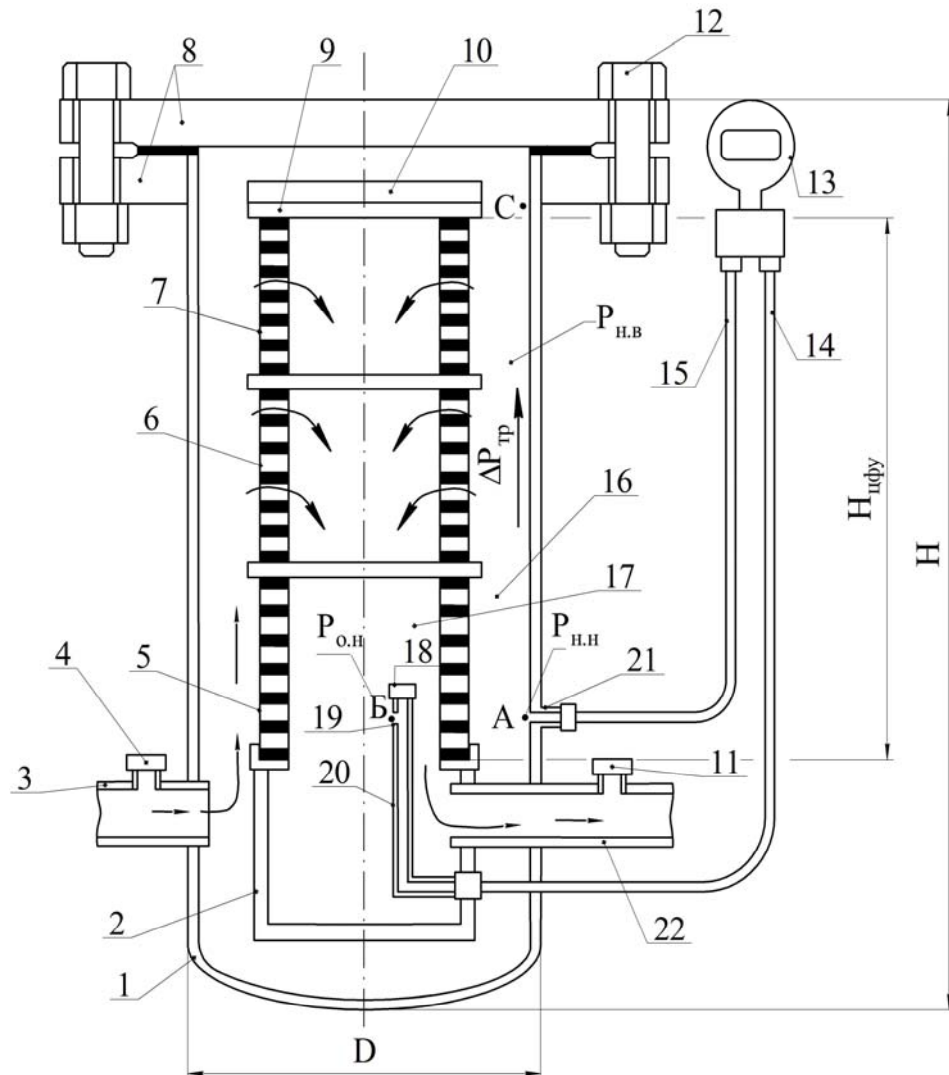


Рис. 1. Схема фильтра сетчатого типа с блоком из нескольких ЦФУ, установленных последовательно один на другой, с замером перепада давления непосредственно на цилиндрических фильтрующих устройствах:

1 – цельносварной корпус; 2 – стакан для установки на нем ЦФУ; 3, 22 – входной и выходной патрубки фильтра; 4, 11 – места установки датчиков для замера перепада давления на фильтре между входным и выходным патрубками; 5, 6 и 7 – соответственно, нижний, средний и верхний цилиндрические фильтрующие устройства сетчатого типа, установленные один на другом; 8 – крышка и ответный фланец корпуса фильтра; 9 – уплотнительная прокладка; 12 – болтовое соединение; 13 – дифференциальный манометр-преобразователь для замера перепада давления на ЦФУ; 14, 15 – импульсные трубки для замера перепада давления на ЦФУ; 16 – кольцевое пространство между фильтрующими устройствами 5, 6, 7 и корпусом фильтра 1; 17 – внутреннее пространство цилиндрических фильтрующих устройств 5, 6 и 7; 18 – герметичная заглушка; 19 – отверстие для замера статического давления очищенного газа; 20 – вертикальная трубка-датчик, снабженная отверстием 19 для замера статического давления очищенного газа во внутреннем пространстве ЦФУ; 21 – трубка-датчик, для замера статического давления неочищенного газа в кольцевом пространстве



Рис. 2. А – общий вид цилиндрического фильтра оптимальной формы, выпускаемого АО «Гипрониигаз», с диаметром входного и выходного патрубков 350 мм и размещенным внутри него блоком из трех опорных оболочек ЦФУ; Б – общий вид трех ЦФУ из сетки, установленных последовательно на одной оси, конструкции АО «Гипрониигаз»:
 1 – опора фильтра; 2 – нижняя часть корпуса фильтра для сбора твердых частиц; 3 – выходной патрубок с фланцем; 4 – верхняя часть корпуса с размещенными внутри него тремя ЦФУ из сетки один на другом; 5 – фланец и крышка корпуса; 6 – штуцера для присоединения датчиков предельного перепада давления до и после ЦФУ; 7 – кольцеобразная нижняя пластина каждого из фильтрующих гофрированных устройств 8, 10, 11, выполняющая функцию поперечного ребра жесткости; 8, 10, 11 – соответственно нижнее, среднее и верхнее фильтрующие устройства, каждое из которых имеет в своем составе опорные оболочки; 9 – кольцеобразная верхняя пластина каждого из фильтрующих устройств 8, 10, 11, выполняющая функцию поперечного ребра жесткости; 12 – крышка.

Выбор места для установки датчиков замера разности давлений (перепада давления) $\Delta P_{\text{цфу}}$ между неочищенным газом до фильтрующей сетки и очищенным газом после нее необходимо осуществлять с учетом следующих требований:

- датчик по замеру давления очищенного и неочищенного газа должен находиться на минимально допустимом расстоянии от фильтрующей сетки ЦФУ с целью исключения погрешности за счет потерь давления в элементах корпуса фильтра;
- фильтрующая сетка в точке замера должна иметь максимальную степень засоренности механическими примесями и, как следствие, здесь будет наблюдаться максимальное значение перепада давления в любой момент эксплуатации.

Выбор точки размещения датчиков перепада давления выполняется после проведения анализа потерь давления газа в процессе его перемещения вдоль фильтрующих устройств 5, 6 и 7, размещенных последовательно на одной оси (см. рис. 1).

Газовый поток, как видно из рис. 1, имеет направление движения вдоль фильтрующих устройств 5, 6 и 7 снизу вверх, что вызывает снижение его давления в средней и верхней частях кольцевого зазора 16 в месте расположения ЦФУ 6 и 7, по

сравнению с нижним ЦФУ 5, в силу гидравлических потерь. Тогда давление газа в нижней точке А вычисляется по формуле

$$P_{н.н} = P_{н.в} + \Delta P_{тр}, \quad (1)$$

где $P_{н.в}$ – давление неочищенного газа в верхней точке С кольцевого пространства 16, Па; $\Delta P_{тр}$ – потери давления при течении газового потока на участке от точки А до точки С, Па.

Величина $\Delta P_{тр}$ определяется, согласно [4]:

$$\Delta P_{тр} = \frac{\lambda \cdot L \cdot \omega_r^2 \cdot \rho_r}{2 \cdot d_{эк}}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент шероховатости стенок внутреннего кольцевого пространства между внутренней поверхностью корпуса фильтра и наружной поверхностью ЦФУ; L – длина внутреннего пространства фильтра на участке размещения ЦФУ 5, 6 и 7, м; $d_{эк}$ – соответственно эквивалентный диаметр внутреннего кольцевого пространства между внутренней поверхностью корпуса фильтра и наружной поверхностью ЦФУ, м; ω_r , ρ_r – соответственно скорость и плотность газа во внутреннем пространстве фильтра при его фактическом давлении, м/с, кг/м³.

Анализ формулы (2) показывает, что чем больше длина L и меньше диаметр $d_{эк}$, тем выше величина потерь на трение $\Delta P_{тр}$. Согласно результатам исследований для новых конструкций фильтров, например, выпускаемых АО «Гипрониигаз», минимальная металлоемкость цилиндрических фильтров обеспечивается при соотношении высоты его корпуса и диаметра, равном 4,5 [1]. В этом случае длина L , равная суммарной высоте ЦФУ 5, 6 и 7, составит 65 % от высоты корпуса фильтра. Величина потерь на трение $\Delta P_{тр}$, согласно формуле (2), существенно возрастает по сравнению с существующими конструкциями фильтров.

Из анализа формулы (1) видно, что давление неочищенного газа $P_{н.н}$ в точке А фильтрующего устройства 5 будет всегда выше, по сравнению с точкой С в месте расположения ЦФУ 7, то есть $P_{н.н} > P_{н.в}$ на величину потерь давления на трение $\Delta P_{тр}$ на участке кольцевого пространства между внутренней поверхностью корпуса фильтра и наружной поверхностью ЦФУ.

Более высокая величина перепада давления на фильтрующем устройстве в точке А, по сравнению с точкой С ($P_{н.н} > P_{н.в}$), приводит к увеличению потока неочищенного газа, а следовательно, и большему количеству механических примесей, оседающих в нижних точках фильтрующего устройства 5, и к большей степени засорения его фильтрующей сетки. Отсюда видно, что измерение статических давлений в нижних точках ЦФУ 5, то есть в точках А и Б, покажет более высокую величину перепада давления на ЦФУ, по сравнению со средней и верхней его частями в месте размещения фильтрующих устройств 6 и 7. При этом предельная величина перепада давления $\Delta P_{пр} = 20,0$ кПа в нижних точках ЦФУ 5 будет достигнута в более ранние периоды, по сравнению с другими точками замера $\Delta P_{пр}$. Таким образом, измерение перепада давления в нижних точках ЦФУ 5, наиболее засоренных механическими примесями, создает возможность максимально раннего получения сигнала на пульте управления и обеспечивает временной запас для технического персонала по своевременному отключению фильтра с целью предотвращения разрушения ЦФУ.

Согласно предлагаемому способу замера перепада давления на ЦФУ (см. рис. 1) штуцер-датчик 21 для отбора давления неочищенного газа размещается в нижних точках корпуса 1 и соединяется своим отверстием с кольцевым пространством 16. Это дает возможность газу от штуцера 21 по трубке 15 поступать к дифференциальному манометру 13 для замера и регистрации статического давления $P_{н.н}$. Узел по отбору давления очищенного газа выполняется в виде вертикально расположенной трубки 20. При этом импульсный трубопровод 14 герметично входит во внутреннее пространство стакана 2. К нему под углом 90° присоединен датчик 20, поднимающийся вверх и

входящий в нижнюю часть внутреннего пространства ЦФУ 5 таким образом, чтобы отверстие 19 было расположено на уровне размещения входа датчика 21 для замера перепада давления неочищенного газа. Отверстие 19 находится в боковой стенке вертикально расположенной трубки 20 для измерения статического давления $P_{o.n.}$. Верхняя часть датчика 20 герметично закрыта заглушкой 18. Таким образом, датчики 21 и 20 измеряют разность статических давлений неочищенного и очищенного газа до и после цилиндрического фильтрующего устройства 5, то есть перепада давления на ЦФУ. Предлагаемое техническое решение защищено патентом на полезную модель № RU 157997 U1 с приоритетом от 16.12.2014 г. [5].

С целью проверки предлагаемого метода оценки степени засорения твердыми частицами фильтрующего устройства сетчатого типа по величине перепада давления $\Delta P_{цфу}$ на нем были проведены соответствующие опыты для цилиндрического фильтра марки ФГ50. Результаты опытов приведены на графике рис. 3 в виде штрихпунктирной кривой 1, полученной путем аппроксимации экспериментальных данных, показанных здесь же в виде треугольников.

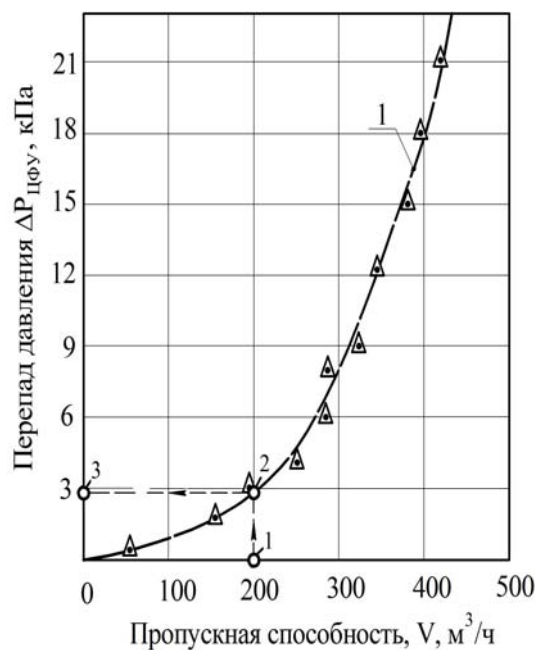


Рис. 3. Перепад давления $\Delta P_{цфу}$ на фильтрующем устройстве в зависимости от пропускной способности:

1 – пунктирная кривая, построенная по экспериментальным данным перепада давления на ЦФУ в зависимости от пропускной способности

Из графика видно, что величина потерь давления на фильтрующем устройстве $\Delta P_{цфу}$ для пропускной способности испытываемого фильтра ФГ50, равной $200 \text{ м}^3/\text{ч}$, составляет 2,8 кПа (точки 1→2→3 на рис. 3). В то же время потери давления в корпусе для той же пропускной способности ($200 \text{ м}^3/\text{ч}$) испытываемого фильтра ФГ50, замеренной на штуцерах 4 и 11 (см. рис. 1) при извлеченных фильтрующих устройствах, составляет 13,4 кПа.

Таким образом, результаты, приведенные на рис. 3, доказывают некорректность определения степени засорения фильтрующей сетки по перепаду давления на входном и выходном патрубках 3 и 22 (см. рис. 1) фильтра и подтверждают целесообразность такой оценки по перепаду давления до и после фильтрующих устройств 5, 6 и 7 по датчикам 21 и 20, полученной согласно предлагаемому техническому решению [5].

Выводы

1. Предложена и защищена конструкция (патент № RU 158000 U1), где вместо одного неразборного ЦФУ используется несколько устройств меньшей высоты, установленных последовательно на одной оси.

2. Доказано, что давление неочищенного газа $P_{н.н}$ в нижней части ЦФУ всегда будет выше по сравнению с давлением $P_{н.в}$ в его верхней части на величину потерь давления на трение, что приводит к более высокому количеству протекающего неочищенного газа, а значит, и к большему количеству механических примесей, оседающих в нижней части ЦФУ, а также к большей степени засорения его фильтрующей сетки.

3. Доказано, что измерение перепада давления в нижней части фильтрующего устройства, более засоренной механическими примесями, создает возможность более раннего получения сигнала на пульте управления и обеспечивает временной запас для технического персонала по своевременному отключению фильтра с целью предотвращения разрушения его ЦФУ.

4. Предложено датчик давления очищенного газа, изготовленный из стальной изогнутой трубки, устанавливать в нижней части внутреннего объема ЦФУ таким образом, чтобы отверстие для соединения с внутренним пространством фильтрующего устройства было размещено в его боковой стенке на той же отметке, что и отверстие датчика давления для неочищенного газа (защищено патентом на полезную модель № RU 157997 U1).

Список литературы

1. Усачев, А.П. Математическая модель оптимизации геометрических параметров фильтров, располагаемых в обогреваемых помещениях / А.П. Усачев, С.В. Густов // Нефтегазовое дело. – Уфа, 2014. – №4. – URL: http://ogbus.ru/issues/4_2014/ogbus_4_2014_p279-301_UsachevAP_ru.pdf (дата обращения: 25.07.2016).

2. Патент на полезную модель RU №158000 U1. Установка грубой очистки природного газа от твердых частиц, располагаемая в помещении / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Рулев, Д.В. Салин; опубл. 20.12.2015. – Бюл. № 35. Дата подачи заявки 16.12.2014. – 7 с.

3. Разработка принципа и математической модели сокращения интегральных затрат в цилиндрические вертикально установленные фильтрующие устройства / Д.В. Салин, А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, З.М. Усуев // Нефтегазовое дело. – Уфа, 2016. – №3, Т. 14. – С. 159–164.

4. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости) / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев. – М.: Стройиздат, 1964. – 273 с.

5. Патент на полезную модель RU №157997 U1. Установка грубой очистки природного газа с цилиндрическим фильтрующим элементом сетчатого типа» / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Рулев, Д.В. Салин, опубл. 20.12.2015. – Бюл. № 35. Дата подачи заявки 16.12.2014. – 8 с.

References

1. Usachev, A.P. Mathematical model of optimization of the geometric parameters of filters placed in heated rooms / A.P. Usachev, S.V. Gustov // Oil and gas business. – Ufa, 2014. – No. 4. – URL: http://ogbus.ru/issues/4_2014/ogbus_4_2014_p279-301_UsachevAP_ru.pdf (25.07.2016).

2. The patent for utility model RU No. 158000 U1. Installation rough peelings natural gas from the solid particles located in the room / A.P. Usachev, A.L. Shuraitz, A.V. Rulev, D.V. Salin; published on 20.12.2015. – Bull. No. 35. Date of application 16.12.2014. – 7 p.

3. The principle and mathematical model of reduction of integral costs in a cylindrical vertically mounted filter device / D.V. Salin, A. P. Usachev, A. L. Shuraitz, Z.M. Usuev // Oil and gas business. – Ufa, 2016. – No. 3, T. 14 – P. 159–164.

4. Altshul, A.D. Hydraulics and aerodynamics (fundamentals of fluid mechanics) / A.D. Altshul, P.G. Kiselev. – M.: Strojizdat, 1964. – 273 p.

5. The patent for utility model RU No. 157997 U1. Installation rough peelings natural gas with a cylindrical filter element of mesh type of» / A.P. Usachev, A.L. Suritz, A.V. Rulev, D.V. Salin; published on 20.12.2015. – Bull. No. 35. Date of application 16.12.2014. – 8 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: (8412) 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

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

Яхкин Михаил Ильич,
кандидат технических наук, ст. научный
сотрудник отдела научных исследований
E-mail: yah@sura.ru

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of 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

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

Yakhkind Michael Il'ich,
Candidate of Sciences, Senior Scientific
Officer of the Scientific Research department
E-mail: yah@sura.ru

ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБЧАТОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА, РАБОТАЮЩЕГО В ЛАМИНАРНОМ РЕЖИМЕ

С.Ю. Андреев, М.И. Яхкин, И.А. Гарькина

Приведены результаты теоретических исследований гидродинамических процессов в пристеночных зонах ламинарного потока жидкости в трубчатом гидродинамическом устройстве. Показано, что в пристеночной области формируется пограничный слой потока жидкости толщиной δ_* , м, в котором величина местной скорости потока u_r , м/с, меняется по линейному закону от нуля у стенки до значения u_* , м/с, на расстоянии δ_* , м, от стенки трубы. Получены математические зависимости, описывающие гидродинамические характеристики пристеночного слоя ламинарного потока жидкости, и закон распределения местной скорости движения жидкости в поперечном сечении переходного слоя в зависимости от расстояния до оси потока. Использование предложенной методики расчета позволит оптимизировать процессы проектирования и эксплуатации трубчатых гидродинамических устройств, работающих в ламинарном режиме движения жидкости.

Ключевые слова: градиент скорости, динамическая скорость, касательное напряжение силы трения, критерий Рейнольдса, диссипация энергии, пристеночный слой, переходный слой

ASSESSMENT OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF TUBULAR MIXING DEVICE WORKING IN LAMINAR MODE

S.Yu. Andreev, M.I. Yakhkind, I.A. Garkina

The results of theoretical researches of hydrodynamic processes in wall areas of the liquid laminar flow in the tubular mixing device are presented. It is shown that the boundary layer of the

liquid flow having the thickness δ_* , m, is formed in wall area, in which value of local flow speed u_r , m/s, changes under the linear law from zero at wall to v_* , m/s, on distance δ_* , m, of pipe wall. The mathematical dependences describing hydrodynamic characteristics of the wall layer of the liquid laminar flow, and the partition law of local liquid moving speed in a cross-section of the transition layer depending on distance to axis of flow are obtained. Use of the offered procedure allows to minimize processes of designing and operation of the tubular mixing devices working in the laminar mode of the liquid flow.

Keywords: speed gradient, dynamic speed, tangential tension of friction force, Reynolds number, energy dissipation, wall layer, transition layer

Во многих химических технологиях (в частности в технологиях очистки природных и сточных вод) используются реакторы, оснащенные перемешивающими устройствами. В этих аппаратах в результате приведения микрообъемов перемешиваемой жидкости в вынужденное движение происходит интенсивное выравнивание концентраций содержащихся в них химических ингредиентов, диспергирование капель эмульсий, твердых частиц суспензий и дробление пузырьков газа.

В настоящее время широкое распространение как в нашей стране, так и за рубежом, получили трубчатые гидравлические смесительные устройства. В смесителях гидравлического типа в отличие от механических смесителей реализуется принцип утилизации собственной энергии потока жидкости за счет его турбулизации, что позволяет отказаться от использования дополнительной энергии, подводимой к электромеханическому перемешивающему устройству.

Трубчатые гидравлические смесительные устройства отличаются конструктивной простотой и эксплуатационной надежностью. Они характеризуются высокой удельной производительностью и интенсивностью перемешивания обрабатываемого объема жидкости, что обуславливает возможность их использования в стесненных условиях.

Гидродинамические процессы, протекающие в трубчатом смесительном устройстве, принято подразделять на две основные группы [1].

Первую группу составляют гидродинамические процессы, влияющие на перенос растворенных веществ и дисперсных частиц в узкой области потока на границе раздела фаз «поток жидкости – стенка трубы». Основное влияние на гидродинамические процессы, протекающие в этой области, оказывают характеристики прилегающего к стенке трубы приграничного слоя потока жидкости, которые зависят от условий течения перемешиваемого объема в непосредственной близости к границе раздела фаз.

Важнейшей гидродинамической характеристикой потока жидкости в приграничной области является градиент скорости в пристеночном слое, величину которой принято определять по формуле

$$G_* = \frac{du}{dy}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где u – величина местной скорости потока расстоянию y (м) от стенки трубы.

Другой характеристикой потока жидкости в пристеночной области является величина касательного напряжения силы продольного внутреннего трения

$$\tau_* = \frac{F_T}{S} = \mu \frac{du}{dy} = \mu G_*, \text{ Н/м}^2, \quad (2)$$

где F_T – величина силы трения, Н; S – площадь поверхности раздела фаз «жидкость – стенка трубы», м²; μ – некоторый коэффициент пропорциональности, называемый динамическим коэффициентом вязкости, Па·с.

Вторую группу образуют гидродинамические процессы, протекающие в объеме потока жидкости и происходящие под воздействием турбулентных пульсаций скоростей потока жидкости.

При ламинарном режиме потока жидкости, поддерживаемом в трубчатых флюкляторах, имеет место лишь первая группа гидродинамических процессов.

В гидродинамических трубчатых смесительных устройствах, работающих в турбулентном режиме потока жидкости, протекает как первая, так и вторая группа гидродинамических процессов.

Существование турбулентного режима движения жидкости впервые было доказано английским физиком Осборном Рейнольдсом (1842–1912 гг.). Им был выведен критерий, позволяющий определять режим движения жидкости, получивший впоследствии название числа Рейнольдса Re . Число Рейнольдса представляет собой безразмерный критериальный комплекс, являющийся отношением величины кинетической энергии элемента жидкости E_k , Дж, к величине работы силы трения, действующей на этот элемент A , Дж:

$$Re = \frac{E_T}{A} = \frac{l v \rho}{\eta} = \frac{l v}{\nu}, \quad (3)$$

где l – линейный размер, м, рассматриваемого элемента жидкости; v – средняя скорость движения этого элемента, м/с; η – динамический коэффициент вязкости, Па·с; $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ – кинематический коэффициент вязкости, м²/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³.

В качестве линейного размера рассматриваемого элемента жидкости может быть использован диаметр d .

При достижении некоторого критического значения плавное ламинарное (от латинского *lamina* – «пластинка») течение превращается в турбулентное (от латинского *turbulentus* – «бурный»), сопровождающееся хаотическим движением жидкости. Появление турбулентности весьма существенно увеличивает сопротивление потоку жидкости.

При ламинарном режиме движения жидкости выполняется параболический закон изменения величины местной скорости движения жидкости u_r в поперечном сечении круглой трубы радиусом r_0 в зависимости от расстояния до ее оси $r=r_0-y$ (y – расстояние от стенки трубы до рассматриваемой точки), названный именем английского физика и математика Джорджа Габриеля Стокса (1918–1903 гг.):

$$u_r = 2v \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right], \text{ м/с.} \quad (4)$$

Критерий Рейнольдса Re характеризует относительную роль силы вязкого трения. Если рассматриваемый линейный размер l и величина скорости движения жидкости v малы, то даже небольшая вязкость будет влиять на характер движения.

Движение жидкости, при котором число Рейнольдса меньше единицы, немецкий механик и физик Прандтль (1875–1953 гг.) назвал ползущим течением [2].

Ползущее течение наблюдается в тонком пограничном слое в пристеночной области потока жидкости толщиной δ_* , м, в котором величина местной скорости потока u_r , м/с, меняется по линейному закону от нуля у стенки до значения v_* на расстоянии δ_* от стенки трубы.

Величины касательного напряжения и градиента скорости в этом пристеночном слое имеют постоянное значение ($G_* = \text{const}$; $\tau_* = \text{const}$). Символ $*$ обозначает, что данная характеристика принадлежит к рассматриваемому пристеночному слою. На границе пристеночного слоя выполняется условие

$$Re_{\delta_*} = \frac{v_* \cdot \delta_*}{\nu} = 1. \quad (5)$$

Для пристеночного слоя будет корректно уравнение

$$v_* = \delta_* \cdot G_*, \text{ м/с.} \quad (6)$$

Скорость v_* называется динамической скоростью (скоростью касательного напряжения). Ее величина определяется по формуле

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_*}{\rho}} = \sqrt{iRg}, \text{ м/с}, \quad (7)$$

где $R = \frac{\omega}{\chi}$ – гидравлический радиус (для трубы круглого сечения $R = \frac{1}{2}r_0$); ω – площадь поперечного сечения потока, м^2 ; χ – смоченный периметр, м; $g=9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; i – гидравлический уклон.

Между величинами динамической скорости v_* и средней скорости потока существует соотношение

$$v_* = v\sqrt{\frac{\lambda}{8}}, \text{ м/с}, \quad (8)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси).

При ламинарном режиме движения жидкости в трубе круглого сечения диаметром d , м, величина коэффициента гидравлического трения определяется по формуле

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}. \quad (9)$$

Из формул (2) и (7) с учетом $v = \frac{\mu}{\rho}$ может быть получена формула для определения величины градиента скорости в пристеночном слое потока жидкости:

$$G_* = \frac{\tau_*}{\mu} = \frac{v_*^2 \rho}{\mu} = \frac{v_*^2}{\nu}, \text{ с}^{-1}. \quad (10)$$

Величины градиента скорости G_r , как и величины касательного напряжения τ_r , на расстоянии $r=r_0-y$ от оси потока прямо пропорционально зависят от отношения текущего радиуса r к радиусу трубы r_0 и изменяются по линейному закону

$$G_r = \frac{du_r}{dr} = G_* \frac{r}{r_0}, \text{ с}^{-1}, \quad (11)$$

$$\tau_r = \mu G_r = \mu G_* \frac{r}{r_0} = \tau_* \frac{r}{r_0}, \text{ Н/м}^2. \quad (12)$$

В соответствии с формулой (4) величина местной скорости на оси потока при $r=r_0=4R$ составляет $v_r=2v$, м/с. Поскольку значение градиента скорости при увеличении текущего радиуса от $r=0$ до $r=r_0$ будет изменяться от значения $G_0=0$ до $G_{r_0}=G_*$ по линейному закону, то величина среднего значения градиента скорости составит

$$G_{\text{cp}} = \frac{G_0 + G_*}{2} = \frac{0 + G_*}{2} = \frac{2v}{r_0}, \quad (13)$$

откуда

$$G_* = \frac{4v}{r_0} = \frac{2v}{R}. \quad (14)$$

При ламинарном режиме движения расход жидкости Q в трубе круглого сечения радиусом r_0 может быть определен по формуле

$$Q = \frac{\pi g i r_0^4}{8 \nu} = \frac{\pi g i R}{4 \nu} r_0^3 = \frac{\pi v_*^2}{4 \nu} r_0^3 = \frac{\pi}{4} G_* r_0^3. \quad (15)$$

Также справедлива формула

$$Q = \pi r_0^2 v. \quad (16)$$

Из (15) и (16) имеем:

$$G_* = \frac{4}{\pi r_0^3}; \quad \pi r_0^2 v = \frac{4v}{r_0} = \frac{2v}{R}.$$

Из формулы (6) с учетом формул (8) и (14) может быть определена толщина пристеночного слоя жидкости:

$$\delta_* = \frac{v_*}{G_*} = R \frac{v_*}{2v} = R \frac{v_*}{2v_* \sqrt{\frac{8}{\lambda}}} = R \sqrt{\frac{\lambda}{32}}, \text{ м.} \quad (17)$$

Таким образом, имеем замкнутую систему уравнений, описывающую гидравлические характеристики пристеночного слоя ламинарного потока жидкости:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_* = v \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \quad (\text{м/с}) \\ \delta_* = R \sqrt{\frac{\lambda}{32}} = \frac{v_*}{G_*} \quad (\text{м}) \\ G_* = \frac{2v}{R} = \frac{v_*^2}{\nu} \quad (\text{с}^{-1}) \\ \lambda = \frac{64}{\text{Re}} \end{array} \right. \quad (18)$$

Наличие в пристеночной области ламинарного потока непосредственно прилегающей к стенке тонкой прослойки жидкости, в которой величина местной скорости меняется по линейному закону, а величины градиента скорости и касательного напряжения силы продольного внутреннего трения имеют постоянное значение, приводит к отклонению от закона Стокса (формула (4)), описывающего распределение величины местных скоростей u_r по радиусу поперечного сечения трубы r , м.

На эпюре распределения величин местных скоростей ламинарного потока (рис. 1, а) теоретическая линия 1–2–3, описывается параболоидом вращения второй степени (формула (4)).

В реальном ламинарном потоке жидкости в кольцевом сечении на расстоянии $r_0 - \delta_* \leq r \leq r_0$ от его оси существует пристеночный слой жидкости, в котором градиент скорости является постоянной величиной ($G_r = G_* = \text{const}$).

Изменение величины местных скоростей u_r (см. рис. 1, а, линия 1–4) в этом пристеночном слое будет описываться уравнением

$$u_r = G_* y = G_* (r_0 - r), \text{ м/с.} \quad (19)$$

Пересечение эпюр местных скоростей 1–2–3 и 1–4–3 осуществляется на нижней границе переходного слоя, имеющего толщину $y = \delta_* + \delta_{**} = 2\delta_*$.

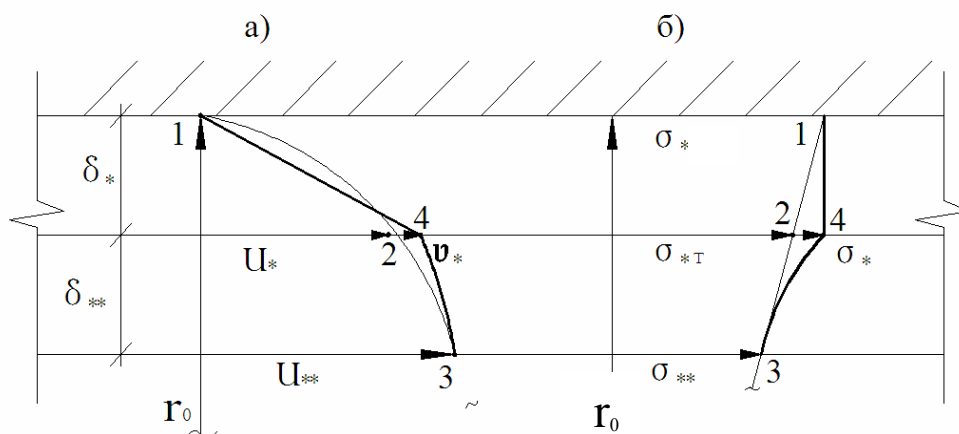


Рис. 1. Схема распределения величин местных скоростей u_r , м/с (а) и градиента скорости G_r , с⁻¹ (б) по радиусу поперечного сечения r , м, при ламинарном режиме движения жидкости

Величина местной скорости на нижней границе переходного слоя при $y=2\delta_*$ может быть определена по формуле

$$\begin{aligned}
 u_r &= 2\nu \left[1 - \left(\frac{r_0 - y}{r_0} \right)^2 \right] = 2\nu \left[1 - \left(\frac{r_0 - 2\delta_*}{r_0} \right)^2 \right] = 2\nu \left[1 - \left(\frac{2R - 2R\sqrt{\frac{\lambda}{32}}}{2R} \right)^2 \right] = \\
 &= 2\nu \left[1 - \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda}{32}} \right)^2 \right] \text{ м/с.}
 \end{aligned} \quad (20)$$

В переходном слое изменение величины градиента скорости по радиусу может быть описано формулой

$$G_r = G_* f(y), \quad (21)$$

где $\delta_* \leq y \leq 2\delta_*$.

Функция $f(y)$ должна обеспечивать выполнение следующих граничных условий:

при $y = \delta_*$

$$G_r = G_*;$$

при $y = 2\delta_*$

$$G_r = G_* \frac{r_0 - 2\delta_*}{r_0}.$$

Данным требованиям отвечает функция

$$G_r = G_* \left(\frac{r_0 - y}{r_0 - \delta_*} \right)^2 = G_* \left(\frac{r}{r_*} \right)^2, \quad (22)$$

где $r_* = r_0 - \delta_*$.

При $y = \delta_*$ функция (22) позволит строго выполнить равенство

$$G_r = G_* \left(\frac{r_0 - \delta_*}{r_0 - \delta_*} \right)^2 = G_*.$$

При $y = 2\delta_*$ функция (22) обеспечит выполнение равенства

$$G_r = G_* \left(\frac{r_0 - 2\delta_*}{r_0 - \delta_*} \right)^2 = G_* \frac{r_0 - 2\delta_*}{r_0}$$

с точностью, позволяющей пренебречь малым значением величины

$$\Delta = \delta_*^2 r_0 - 2\delta_*^3.$$

Поскольку величина расхода жидкости, протекающей через кольцевой зазор, образованный пристеночным слоем и переходным слоем, считается неизменной, то площади S_{123} и S_{143} фигур, образованных графиками распределения величин местных скоростей (см. рис. 1,а), равны.

Из формул (22) имеем:

$$du = -G_* \left(\frac{r}{r_*} \right)^2 dr.$$

Проведя соответствующее преобразование с учетом (14) и интегрирование, получим:

$$u_r = \int_0^{r_*} -\frac{2\nu}{Rr_*^2} r^2 dr = -\frac{1}{3} \frac{2\nu}{Rr_*^2} r^3 + C.$$

Постоянная интегрирования C может быть определена из условия $u_r = \nu_*$, выполняющегося при $r = \delta_*$:

$$C = \frac{1}{3} \frac{2\nu}{Rr_*^2} r_*^3 + \nu_*,$$

тогда

$$u_r = \frac{2}{3} \frac{\nu}{Rr_*^2} (r_*^3 - r^3) + \nu_* = \frac{2}{3} \nu \frac{r_*}{R} \left(1 - \frac{r^3}{r_*^3} \right) + \nu_*. \quad (23)$$

Содержащаяся в потоке жидкости энергия за счет действия сил трения рассеивается в окружающую среду и превращается в теплоту.

Явление рассеивания энергии в окружающую среду называется диссипацией энергии. Отношение потери энергии при установившемся равномерном движении потока жидкости A , Дж, на длине участка l , м, к массе этого потока m , кг, принято называть удельной массовой диссипацией энергии ε_l

$$\varepsilon_l = \frac{A}{m}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}. \quad (24)$$

Поскольку

$$A = l\omega\Delta P = l\omega\rho g l; m = \omega l\rho; \nu_*^2 = igR,$$

где $\Delta P = \rho g l$ – потеря давления, Па, на участке потока длиной l , м, то

$$\varepsilon_l = \frac{l\omega\rho g l}{\omega l\rho} = g l \frac{R}{R} = \nu_*^2 \frac{l}{R} = \frac{\Delta P}{\rho}. \quad (25)$$

На участке потока жидкости, длина которого равна половине величины гидравлического радиуса ($l = \frac{1}{2}R$), величина удельной массовой диссипации энергии будет иметь значение

$$\varepsilon_R = \frac{1}{2} \nu_*^2. \quad (26)$$

Величину массовой энергии, рассеиваемой потоком жидкости за единицу времени, принято называть удельной секундной диссипацией энергии

$$\varepsilon_T = \frac{\varepsilon_l}{T}, \frac{\text{М}^2}{\text{с}^3}. \quad (27)$$

Поскольку $T = \frac{l}{v}$; $G_* = \frac{2v}{R}$, то

$$\varepsilon_T = v_*^2 \frac{l}{R} \frac{1}{T} = v_*^2 \frac{l}{R} \frac{v}{l} = \frac{1}{2} v_*^2 G_*. \quad (28)$$

Величина удельной массовой кинетической энергии элементарной струйки, имеющей скорость $u_{r,*}$ в пристеночном слое, определяется как

$$E_u = \frac{1}{2} u_{r,*}^2, \frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}. \quad (29)$$

Основное свойство пристеночного слоя – постоянство величин градиента скорости G_* и касательного напряжения τ_* – определяется условием превышения величины удельной массовой диссипации энергии ε_R над удельной массовой кинетической энергией элементарной струйки E_u :

$$\frac{1}{2} v_*^2 \geq \frac{1}{2} u_{r,*}^2. \quad (30)$$

Проводя математические преобразования уравнения (4), можно получить формулу, позволяющую проанализировать баланс удельных энергетических характеристик в поперечном сечении установившегося равномерного потока жидкости, движущегося в круглой трубе при ламинарном режиме.

С учетом $G_* = \frac{2v}{R} = \frac{v_*^2}{v}$; $v_*^2 = \frac{\tau_*}{\rho}$; $\tau_r = \tau_* \frac{r}{r_0}$ имеем

$$u_r = 2v \left[1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right] = \frac{2v}{R} R \left[1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right] = G_* R \left[1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right] = \frac{v_*^2}{v} R \left[1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right];$$

$$u_r \frac{v}{R} = v_*^2 - v_*^2 \frac{r^2}{r_0^2};$$

$$\frac{1}{2} v_*^2 = \frac{1}{2} u_r \frac{v}{R} + \frac{1}{2} \frac{\tau_*}{\rho} \frac{r^2}{r_0^2};$$

$$\varepsilon_R = \frac{1}{2} v_*^2 = \frac{1}{2} u_r \frac{v}{R} + \frac{1}{2} \frac{\tau_r}{\rho} \frac{r}{r_0}, \text{М}^2/\text{с}^2. \quad (31)$$

Анализируя уравнение (31), можно сделать следующие выводы:

1. Величина удельной массовой диссипации энергии ε_R , $\text{М}^2/\text{с}^2$, ламинарного потока жидкости имеет постоянное значение по всему поперечному сечению потока.

2. Величина удельной массовой диссипации энергии ε_R в рассматриваемой точке ламинарного потока жидкости является суммой двух слагаемых: удельной массовой диссипации энергии, обусловленной скоростным напором $\varepsilon_u = \frac{1}{2} u_r \frac{v}{R}$, $\text{М}^2/\text{с}^2$, и

удельной массовой диссипацией энергии, обусловленной касательным напряжением силы продольного внутреннего трения $\varepsilon_\tau = \frac{1}{2} \frac{\tau_r}{\rho} \frac{r}{r_0}$, $\text{м}^2/\text{с}^2$:

$$\varepsilon_R = \varepsilon_u + \varepsilon_\tau, \text{м}^2/\text{с}^2.$$

3. Удельно-массовая диссипация энергии ламинарного потока жидкости, обусловленная скоростным напором ε_u , имеет максимальное значение на оси потока:

$$\varepsilon_{u \max} = \frac{1}{2} v_*^2 = v \frac{v}{R}.$$

4. Удельно-массовая диссипация энергии ламинарного потока жидкости, обусловленная касательным напряжением силы продольного трения, имеет максимальное значение на границе раздела фаз «поток жидкости – стенка трубы»:

$$\varepsilon_{\tau \max} = \frac{1}{2} v_*^2 = \frac{1}{2} \frac{\tau_*}{\rho}.$$

Используя систему уравнений, описывающих гидравлические характеристики пристеночного слоя ламинарного потока жидкости (18), формулы распределения величин местной скорости в ядре потока (4), в переходном слое (23) и в пристеночном слое (19), можно корректно определить гидродинамические характеристики ламинарного потока жидкости в трубе круглого сечения, что позволит оптимизировать процессы проектирования и эксплуатации трубчатых гидродинамических устройств.

Список литературы

1. К вопросу гидравлического расчета трубчатого гидродинамического флокулятора / С.Ю. Андреев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С.107–114.
2. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 576 с.
3. Ландау, Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2006. – 736 с.

References

1. To the question of hydraulics computation of pipe hydrodynamic flocculator / S.Yu. Andreev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2013. – No.1. – P. 107–114.
2. Prandtl, L. Hydroaeromechanics / L. Prandtl. – Izhevsk: “Regular and chaotic dynamics”, 2000. – 576 p.
3. Landau, L.D. Hydrodynamics / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. – M.: Physmatlit, 2006. – 736 p.

УДК 677.027.12:519.87

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

Ерёмкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Аверкин Александр Григорьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: algraw@mail.ru

Баканова Светлана Викторовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: SvBakanova@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

Eremkin Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Heat, gas supply
and ventilation»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Averkin Aleksandr Grigorievich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Heat and gas supply and
Ventilation»
E-mail: algraw@mail.ru

Bakanova Svetlana Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of department of «Heat, gas supply and
ventilation»
E-mail: SvBakanova@mail.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ПО ТИПУ ВЫТЕСНЯЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ.

А.И. Ерёмкин, А.Г. Аверкин, С.В. Баканова

Рассматривается локальная система кондиционирования воздуха, позволяющая снизить воздухообмен, уменьшить энергозатраты. Используется принцип вытесняющей вентиляции, при котором наблюдается высокая степень равномерности параметров воздуха по длине технологической и рабочей зон для текстильных предприятий. Изучен процесс изменения параметров воздуха. Приведены результаты экспериментальных исследований внутреннего микроклимата. Показаны снижение энергозатрат и повышение эффективности систем вентиляции путем подачи приточного воздуха в нижнюю зону с применением специального воздухораспределителя с интенсивным гашением скорости приточных оппозитных струй.

Ключевые слова: текстильные предприятия, эффективность, снижение энергозатрат, локальная система, кондиционирование воздуха, вытесняющая вентиляция, воздухораспределитель, рабочая и технологическая зоны, методы оценки

EVALUATION OF EFFICIENCY OF THE LOCAL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL AIR CONDITIONING BY THE TYPE OF EXHAUST VENTILATION.

A.I. Eremkin, A.G. Averkin, S.V. Bakanova

Local air conditioning system is considered, which allows to reduce air exchange and energy consumption. The principle of displacement ventilation is used, in which a high degree of uniformity of air parameters along the length of the technological and working zones is observed for the textile enterprises. The process of air parameters change is studied. The results of experimental studies of the internal microclimate are given. Shown to reduce energy consumption and increase efficiency of ventilation systems by feeding supply air to the lower area with the use of a special diffuser with intensive quenching speed of supply air boxer jets.

Keywords: textile enterprise, efficiency, reducing energy consumption, local system, air conditioning, displacement ventilation, air distribution, work and technology zones, assessment methods

В [1, 2] рассматривается локальная система технологического кондиционирования воздуха (ЛСТКВ) на модели. Результаты исследования подтвердили, что создана новая энерго- и материалосберегающая система. Показано, что воздухообмен снижается до 50 % и, как следствие, уменьшаются энергозатраты на охлаждение кондиционированного воздуха в 2–2,5 раза. Это приводит к уменьшению размеров вентиляционного оборудования и габаритов установок кондиционирования воздуха. Если учесть, что на нужды вентиляции и кондиционирования воздуха тратится до 40 % от общего энергопотребления на текстильных предприятиях, то снижение воздухообмена на 50 % даст значительную экономию энергоресурсов.

Проводились исследования по определению эффективности систем технологического кондиционирования воздуха на основе изучения изменения параметров воздуха в технологической и рабочей зонах, при этом применяли ЛСТКВ с использованием принципов вытесняющей вентиляции.

Благодаря предлагаемому воздухораспределителю [3] при применении ЛСТКВ, функционирующей по принципу вытесняющей вентиляции, наблюдается высокая степень равномерности распределения температуры t_i и подвижности воздуха v по длине технологической и рабочей зон (рис. 1-3).

Изменение температуры внутреннего воздуха по длине цеха в рабочей зоне от суммарных видов теплоступлений (от оборудования, искусственного освещения, солнечной радиации через стены, остекления и покрытия) показано на рис. 1.

Максимальная температура воздуха в рабочей зоне (23,5 °С) наблюдается при суммарных теплоступлениях и минимальная (20,5 °С) – при поступлениях теплоты от освещения.

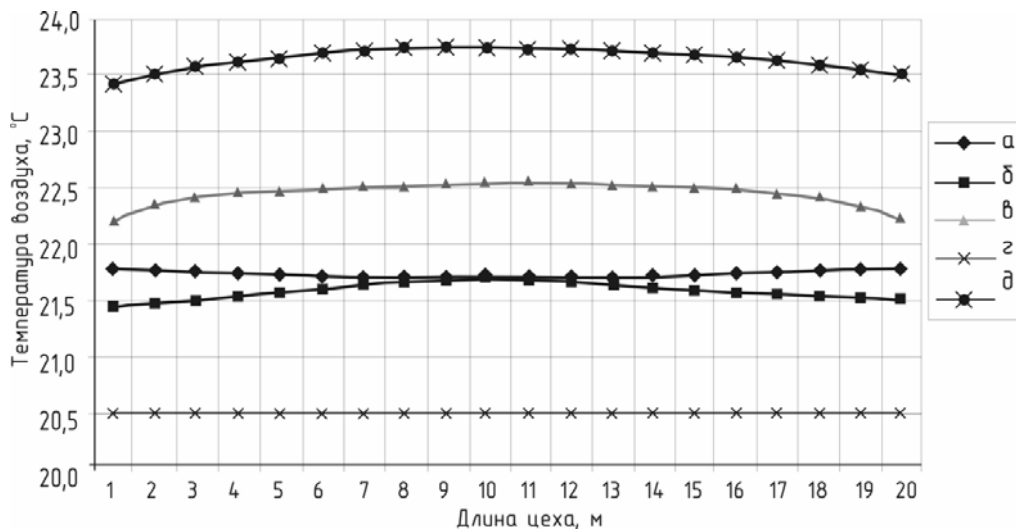


Рис. 1. Изменение средней температуры внутреннего воздуха по длине и высоте цеха в рабочей зоне при теплоступлениях: а – от стен; б – от покрытия; в – от оборудования; г – от освещения; д – от суммарных теплоступлений

Высокая равномерность температуры воздуха t_i по высоте и длине рабочей зоны (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м) подтверждается полученными на модели данными, приведенными на рис. 2.

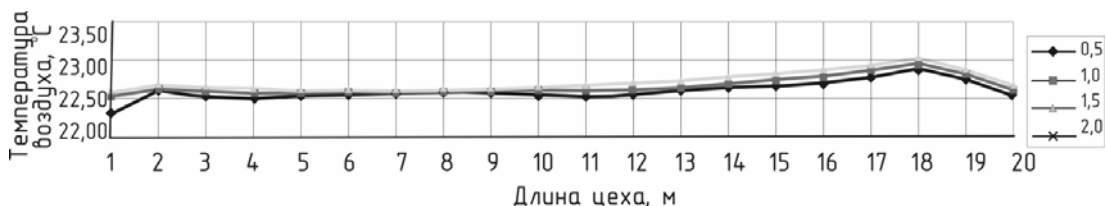


Рис. 2. Изменение температуры внутреннего воздуха в рабочей зоне по длине и высоте цеха

Изменение подвижности воздуха v по длине и высоте рабочей зоны (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м) показано на рис. 3. Полученные закономерности также указывают на достаточно высокую равномерность скорости воздуха в зоне пребывания людей.

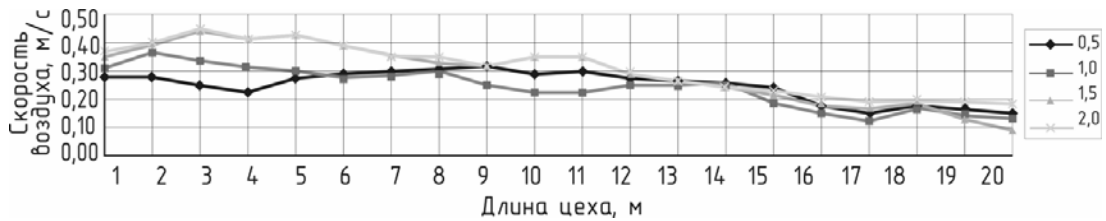


Рис. 3. Изменение подвижности внутреннего воздуха в рабочей зоне по длине и высоте цеха

Результаты исследования подтверждают, что ЛСТКВ, функционирующая по типу вытесняющей вентиляции, обеспечивает температуру воздуха в пределах 22,5–23,0 °С и его подвижность 0,2–0,4 м/с в рабочей зоне, что соответствует санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям, предъявляемым к параметрам искусственного микроклимата в производственных помещениях текстильных предприятий [4].

Высокая равномерность параметров t и v достигается в результате применения в технологической и рабочей зонах воздухораспределителя с равномерной раздачей приточного воздуха оппозитными струями с малыми скоростями [3].

При использовании ЛСТКВ по типу вытесняющей вентиляции уменьшается тепловое напряжение воздуха рабочей зоны, так как понижение температуры воздуха в помещении происходит непосредственно в нижней зоне – в местах тепловыделений (рис. 4). Основное преимущество вытесняющей вентиляции заключается в существенном повышении качества воздуха в помещении, при прочих равных условиях, по сравнению с использованием традиционной перемешивающей вентиляции. Преимущество определяется высотой температурной стратификации загрязненного воздуха, которая находится выше двух метров. Вертикальная разность температур воздуха между рабочей и верхней зонами помещения составляет 1,5 °С и соответствует допустимым нормам комфортности (по норме $\Delta t \leq 2$ °С).

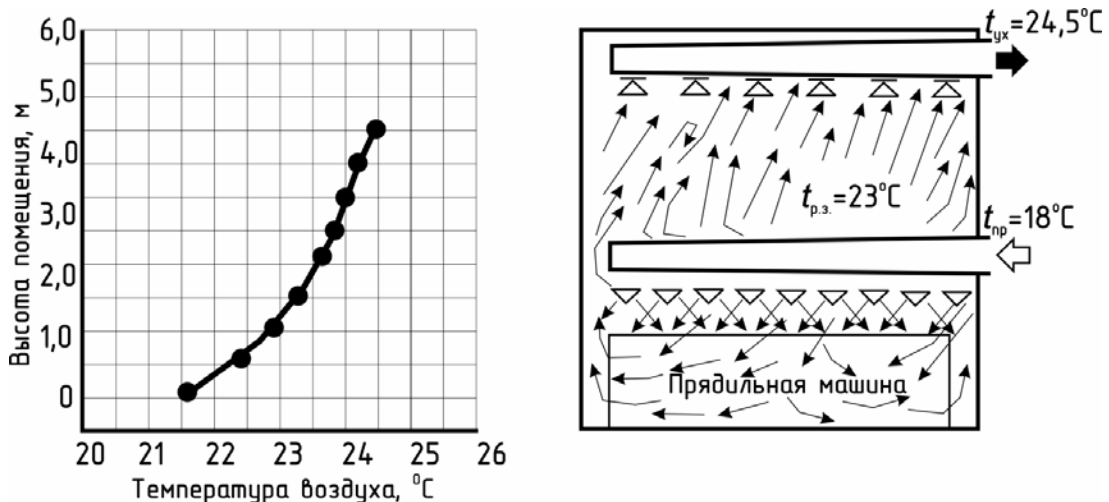


Рис.4. Вертикальный градиент температуры воздуха в помещении с вытесняющей вентиляцией и схемой воздухообмена «снизу вверх» при суммарных теплопоступлениях

Экспериментальные исследования дают основание утверждать, что подача приточного воздуха в обслуживаемую зону помещения позволяет значительно улучшить качество воздуха при сокращенных на 50 % воздухообменах.

Аналогичное качество воздуха при перемешивающей вентиляции можно достичь при больших воздухообменах, более низких температурах приточного воздуха (рис. 5), необоснованных энергозатратах.

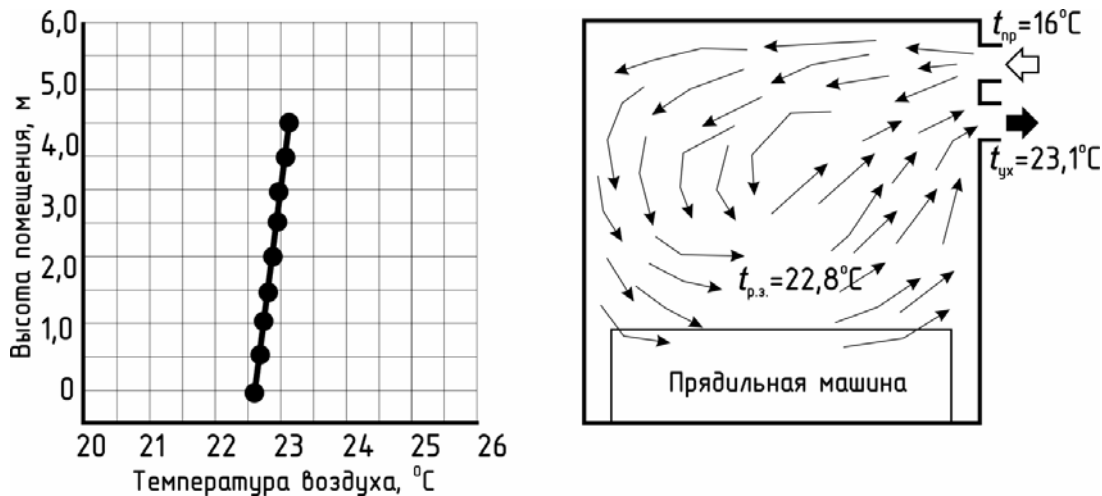


Рис. 5. Вертикальный градиент температуры воздуха в помещении с перемешивающей вентиляцией и схемой воздухообмена «сверху вниз» при суммарных теплопоступлениях

На рис. 4 и 5 представлены типичные схемы распределения температуры воздуха в помещениях с вытесняющей (см. рис. 4) и перемешивающей (см. рис. 5) системами вентиляции. Различие состоит в том, что при вытесняющей вентиляции температура воздуха повышается от пола до верха помещения, например, с 21,5 до 24,5 °C (см. рис. 4). При перемешивающей вентиляции температура воздуха повышается весьма незначительно – с 22,6 до 23,1 °C (см. рис. 5) – за счет интенсивного перемешивания приточного и внутреннего загрязненного воздуха. В этом случае существенно снижается качество воздуха в обслуживаемой зоне.

В системах с вытесняющей вентиляцией температура приточного воздуха не может быть низкой, как это допускается в системах с перемешивающей вентиляцией, из-за дискомфорта в зоне пребывания работающих. В примере, представленном на рис. 4, эта разница достигает 5 °C (допустимый предел 3–6 °C).

Данные, полученные в условиях практической деятельности, позволяют сделать вывод, что при вытесняющей вентиляции имеется возможность в течение определенного периода года использовать в качестве естественного охлаждения наружный воздух с температурой от 16 до 20 °C.

Часто оказывается экономически выгодным при ЛСТКВ по типу вытесняющей вентиляции и схеме воздухообмена «снизу вверх» использовать вместо приточной систему с рециркуляцией воздуха.

Проведенные исследования на модели показали, что ЛСТКВ в сочетании с вытесняющей вентиляцией позволяет наиболее эффективно использовать приточный воздух ($\zeta_{пр}$), так как коэффициент доступности приточного воздуха $K_d = \frac{\zeta_{р.з.}}{\zeta_{пр}}$ в

рабочую зону ($\zeta_{пр}$) максимально приближен к единице, а при перемешивающей вентиляции и схеме воздухообмена «сверху вниз» этот коэффициент значительно меньше единицы.

Исследования показали, что при использовании ЛСТКВ уменьшается тепловое напряжение воздуха рабочей зоны, так как понижение температуры воздуха в помещении происходит непосредственно в нижней зоне помещения – в местах тепловыделений (см. рис. 4). При затоплении нижней зоны холодным приточным воздухом и вытеснении теплоизбытков в верхней зоне помещения образуется тепловая подушка с температурой на 1,5–3 °C выше температуры воздуха в рабочей зоне. При переме-

шивающей вентиляции и схеме подачи «сверху вниз» тепловая подушка формируется ближе к рабочей зоне, что затрудняет поддержание требуемого искусственного микроклимата и ухудшает тепловую обстановку для работающего персонала.

Полученные результаты на практике подтвердили, что применение ЛСТКВ, функционирующей по типу вытесняющей вентиляции, позволяет обеспечивать требуемые параметры t , v и ϕ в технологической и рабочей зонах при меньших на 50 % воздухообменах. Вытесняющая вентиляция и схема воздухообмена «снизу вверх» уменьшают концентрацию загрязнений в нижней зоне на 50–68 %. В результате значительно улучшается качество воздуха в рассматриваемых зонах в силу того, что загрязняющие вещества (теплота, пыль, газы и др.) вытесняются в верхнюю зону помещения и затем удаляются вместе с воздухом. Можно сделать вывод, что ЛСТКВ по типу вытесняющей вентиляции имеет ощутимые преимущества и в плане качества воздуха, и в плане экономии энергоресурсов, затрачиваемых на кондиционирование воздуха.

При использовании разработанной ЛСТКВ в вентилируемых помещениях формируется вертикальный, равномерный, однонаправленный поток воздуха с низкой турбулентностью с подачей в нижнюю и удалением его из верхней зоны помещения. Такая система, по мнению авторов, может являться активной термовытесняющей системой поршневого типа.

Дополнительно к лабораторным исследованиям высокая эффективность разработанной локальной системы технологического кондиционирования воздуха доказана в производственных условиях.

Таким образом, применительно к предприятиям текстильной промышленности показано, что целесообразен переход от перемешивающего турбулентного воздухообмена к ЛСТКВ, функционирующей по принципу вытесняющей вентиляции и схеме воздухообмена «снизу вверх», путем подачи приточного воздуха в нижнюю рабочую и технологическую зоны. Решить этот вопрос можно, применив разработанный для этих систем воздухораспределитель с интенсивным гашением скорости приточных оппозитных струй воздуха и удалением его из верхней зоны помещения.

Список литературы

1. Закономерности процессов увлажнения текстильного материала / А.И. Еремкин [и др.] // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – April 2017. – Vol 12, N 0-7. – P. 2265–2270.
2. Математическая модель текстильного материала в процессе увлажнения / А.И. Еремкин [и др.] // *Региональная архитектура и строительство*. – 2017. – №4.
3. Патент РФ №2128253. Устройство локальной раздачи воздуха / А.И. Еремкин, О.А. Базорова; заявитель и патентообладатель Пензенский архит.-строит. ин-т. 96123359//2; заявл.10.12.96; Опубл. 20.08.2002. Бюл.№9.
4. Сорокин, Н.С. Вентиляции, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных фабриках / Н.С. Сорокин. – М.: Гизлегпром, 1995. – 328 с.

References

1. Textile material humidification patterns / A.I. Eremkin [etc.] // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – April 2017. – Vol 12, N 0-7. – P. 2265–2270.
2. Mathematical Model of Textile Material in the Process of Humidification / A.I. Eremkin [etc.] // *Regional architecture and engineering* – 2017. – No. 4.
3. Patent of the Russian Federation No. 2128253. Air distributor / A.I. Eremkin, O.A. Bazarova; Published on 20.08.2002. Newsletter №9.
4. Sorokin, N.S. Ventilation, heating and air conditioning on the textile industries / N.S. Sorokin. – M.: Gizlegprom, 1995. – 328 p.

УДК 628.85

*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**Чиркова Елена Владимировна**,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогазоснабжение,
вентиляция, водоснабжение
и водоотведение»*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Бикунова Марина Викторовна**,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»**Грейсух Григорий Исаевич**,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Физика и химия»
E-mail: grey@pguas.ru*Пензенский государственный университет*
Россия, 440000, г. Пенза, ул. Красная, д.40**Салмин Владимир Васильевич**,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Транспортные машины»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru*Togliatti State University*Russia, 445020, Togliatti, 14, Belorusskaya
St.,
tel.: (8482)53-92-78**Kucherenko Maria Nikolaevna**,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Heat and gas
supply, ventilation, water supply and
sewerage»
E-mail: kucherenk_maria@mail.ru**Chirkova Elena Vladimirovna**,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Heat and gas supply,
ventilation, water supply and sewerage»*Penza State University of Architecture
and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Bikunova Marina Viktorovna**,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»**Greysoukh Grigoriy Isaevich**,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Physics and Chemistry»
E-mail: grey@pguas.ru*Penza State University*
Russia, 440000, Penza, 40, Krasnaya St.**Salmin Vladimir Vasilievich**,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Transport machinery»
E-mail: salmin-penza@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО И ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА ВЛАЖНОСТИ

М.Н. Кучеренко, Е.В. Чиркова, М.В. Бикунова, Г.И. Грейсух, В.В. Салмин

На основе экспериментальных исследований представлены эмпирические зависимости для определения значений потенциала влажности наружного воздуха, которые позволяют с высокой точностью выбирать параметры для расчёта теплофизических характеристик наружных ограждающих конструкций. Построены графики зависимостей потенциала влажности θ от температуры наружного воздуха t_n и его относительной влажности φ в диапазонах $-30^{\circ}\text{C} < t_n < 20^{\circ}\text{C}$ и $50\% < \varphi < 80\%$. Полученные значения потенциала влажности внутреннего воздуха могут быть использованы для проектирования и расчётов систем вентиляции, обеспечивающих требуемый микроклимат в помещениях сельскохозяйственных зданий.

Ключевые слова: температура и влажность воздуха, потенциал влажности, сельскохозяйственное здание, микроклимат

DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF EXTERNAL AND INTERNAL AIR BASED ON HUMIDITY POTENTIAL THEORY

M.N. Kucherenko, E.V. Chirkova, M.V. Bikunova, G.I. Greysukh, V.V. Salmin

On the basis of experimental studies, empirical relationships are presented for determining the values of outdoor air humidity potential, which allowed to select parameters with high accuracy for calculating the thermophysical characteristics of external enclosing structures. The dependences of the humidity potential θ on the outside air temperature t_{out} and its relative humidity φ in the range $-30^{\circ}\text{C} < t_{out} < 20^{\circ}\text{C}$ and $50\% < \varphi < 80\%$ are plotted. The obtained values of the humidity potential of the internal air can be used for the design and calculation of ventilation systems that provide the required microclimate in the premises of agricultural buildings.

Keywords: air temperature and humidity, humidity potential, agricultural building, microclimate

Для практического применения теории потенциала влажности в инженерных расчетах [1, 2] необходимо иметь расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха в шкале потенциала влажности. Определение численных значений потенциала влажности воздуха возможно аналитическим и графоаналитическим способами по $I-d-\theta$ -диаграмме.

Аналитические зависимости для определения значений потенциала влажности воздуха впервые были предложены В.Н. Богословским. Согласно его исследованиям, потенциал влажности воздуха является функцией четырех переменных: температуры t_n , относительной влажности воздуха ϕ_n , интенсивности солнечной радиации q_p , скорости ветра v_n : $\theta_n = f(t_n, \phi_n, q_p, v_n)$. Экспериментальные зависимости в различных диапазонах температур наружного воздуха имеют вид:

$$t_n \leq -20^{\circ}\text{C} \quad \theta_n = -3.81 + 0.195t_n + 0.164\phi_n - 0.0027q_p - 0.035v_n; \quad (1)$$

$$-20^{\circ}\text{C} < t_n \leq -10^{\circ}\text{C} \quad \theta_n = 6.027 + 0.227t_n + 0.046\phi_n - 0.00143q_p - 0.0483v_n; \quad (2)$$

$$-10^{\circ}\text{C} < t_n \leq 0^{\circ}\text{C} \quad \theta_n = 2.86 + 0.219t_n + 0.09651\phi_n - 0.00349q_p - 0.0081v_n; \quad (3)$$

$$0^{\circ}\text{C} < t_n \leq 10^{\circ}\text{C} \quad \theta_n = -4.01 + 0.488t_n + 0.169\phi_n - 0.00468q_p - 0.0165v_n; \quad (4)$$

$$10^{\circ}\text{C} < t_n \leq 20^{\circ}\text{C} \quad \theta_n = -13.6 + 1.22t_n + 0.204\phi_n - 0.0026q_p - 0.022v_n. \quad (5)$$

Уточнение и расширение области применения θ и аналитических зависимостей для определения потенциала влажности воздуха осуществлено в работе [3]. Формулы получены путем аппроксимации кривых постоянных потенциалов влажности $\theta = \text{const}$, нанесенных на $I-d$ -диаграмму влажного воздуха. В различных диапазонах температур и относительных влажностей воздуха потенциал влажности воздуха определяется из следующих соотношений:

$$\text{при } t \leq 10^{\circ}\text{C} \text{ независимо от } \varphi \quad \lg \theta = 0.057d + 0.829; \quad (6)$$

$$\text{при } t > 10^{\circ}\text{C} \text{ и } \varphi \geq 80\% \quad \lg \theta = 0.12d - 0.049t + 1.056; \quad (7)$$

$$\text{при } t > 10^{\circ}\text{C} \text{ и } \varphi < 80\% \quad \lg \theta = 0.096d + 0.082 \quad (20 < d \leq 30); \quad (8)$$

$$\lg \theta = 0.057d + 0.829 \quad (0 < d \leq 20), \quad (9)$$

где d – влагосодержание воздуха, г/кг сух. в-ха.

В качестве характеристики наружного климата принимается потенциал влажности наружного воздуха θ_n , °В.

С целью дальнейшего использования указанных зависимостей нами был проведен сравнительный анализ результатов, рассчитанных по формулам (1...5) (потенциал Θ_1 , °В) и (6...9) (потенциал Θ_2 , °В) для воздуха на основе климатических данных, полученных в Тольяттинской специализированной гидрометеорологической обсерватории. Расчет потенциалов влажности наружного воздуха производился по среднесуточным значениям температуры t_n , °С, и относительной влажности ϕ_n , %, наружного воздуха для периода с 1997 по 2007 год. Расчет по зависимостям (1)...(5) осуществлялся без

учета последних двух слагаемых ввиду незначительного их влияния на конечные результаты (невязка до 4 %).

На основании выполненных расчетов построены зависимости потенциалов влажности Θ_1 и Θ_2 от температуры t_n , °С, наружного воздуха и его относительной влажности φ_n , % (рис.1–4). Из представленных графиков можно сделать вывод, что значения потенциалов влажности наружного воздуха θ_n , °В, вычисленные как по зависимостям (1)...(5), так и по зависимостям (6)...(9), в холодный период года практически совпадают. Максимальная невязка для холодного периода года не превышает: 12,2 % – при $\varphi_n = 50$ %; 10,8 % – при $\varphi_n = 60$ %; 9,2 % – при $\varphi_n = 70$ %; 8,6 % – при $\varphi_n = 80$ %. Это подтверждает возможность использования в инженерных расчетах влажностного режима ограждений производственных сельскохозяйственных зданий обоих видов зависимостей. Расхождения значений потенциалов влажностей в теплый период года были обусловлены влиянием на величину потенциала влажности солнечной радиации, которая не учитывалась нами при расчете характеристик Θ_1 .

Выбор параметров наружного климата для расчета теплофизических характеристик наружных ограждающих конструкций должен проводиться с учетом требований обеспеченности расчетных условий. В качестве показателя, позволяющего оценить вероятность отклонения значения потенциала влажности наружного воздуха θ_n от расчетного, используется традиционный для строительной теплофизики коэффициент обеспеченности $K_{об}$.

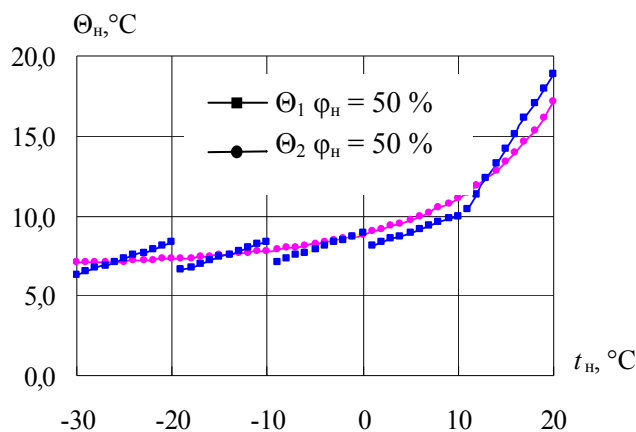


Рис. 1. Зависимость потенциалов влажности наружного воздуха Θ_1 и Θ_2 от температуры t_n при относительной влажности воздуха $\varphi_n = 50$ %

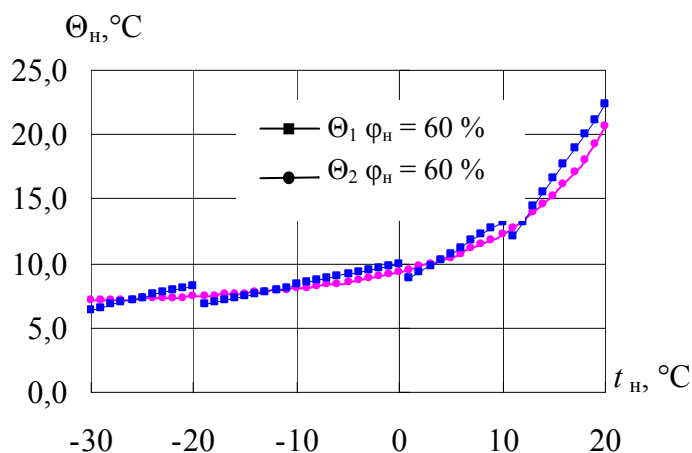


Рис. 2. Зависимость потенциалов влажности наружного воздуха Θ_1 и Θ_2 от температуры t_n при относительной влажности воздуха $\varphi_n = 60$ %

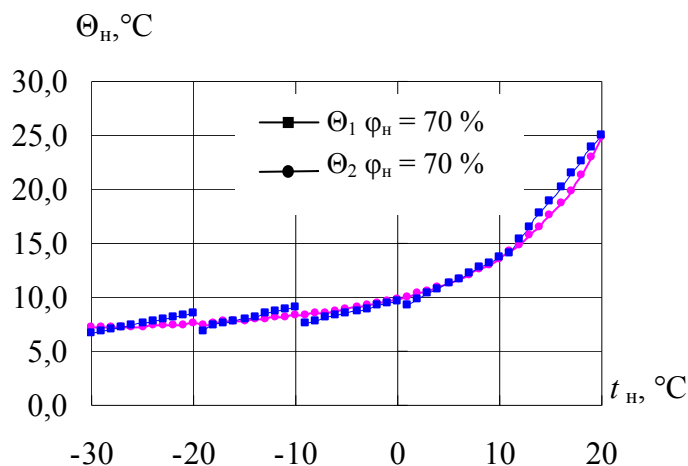


Рис. 3. Зависимость потенциалов влажности наружного воздуха Θ_1 и Θ_2 от температуры t_n при относительной влажности воздуха $\varphi_n=70\%$

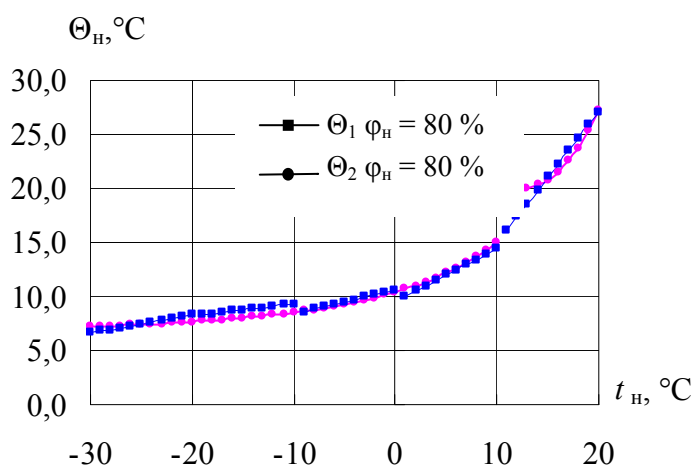


Рис. 4. Зависимость потенциалов влажности наружного воздуха Θ_1 и Θ_2 от температуры t_n при относительной влажности воздуха $\varphi_n=80\%$

Для получения расчетного значения потенциала влажности наружного воздуха Θ_n при разных коэффициентах обеспеченности $K_{об}$ за ряд случаев были приняты все сутки отопительных периодов с 1997 по 2007 год по данным метеорологических наблюдений Тольяттинской специализированной гидрометеорологической обсерватории. Количество отсчетов по указанному сроку наблюдения $N = 2150$. Расчетные условия для холодного периода года должны быть определены наиболее невыгодным сочетанием климатических параметров. Поэтому за расчетный случай были приняты самые холодные сутки ($t_n = -31\text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_n = 73\%$) с наименьшим значением потенциала влажности наружного воздуха $\Theta_n = 7,1\text{ }^\circ\text{B}$, которому соответствует величина коэффициента обеспеченности $K_{об} = 1,0$.

Значения потенциалов влажности наружного воздуха были расположены в возрастающий статистический ряд. На рис. 5 приведено графическое изображение статистического ряда для принятого срока наблюдения. На основе полученной графической зависимости представляется возможным определить величину расчетного потенциала влажности наружного воздуха при заданном значении коэффициента обеспеченности $K_{об}$.

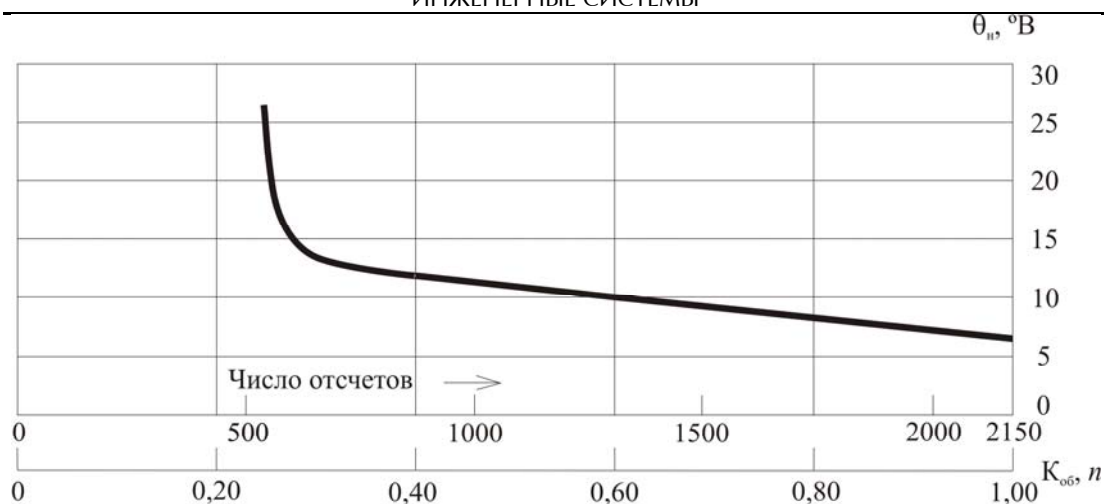


Рис. 5. Статистический ряд среднесуточных значений потенциала влажности (отопительный период)

За расчетный параметр внутреннего воздуха принимается значение потенциала влажности θ_v , °В. Он является функцией температуры и относительной влажности воздуха, значения которых для помещений сельскохозяйственных зданий регламентируются нормами технологического проектирования. В таблице приведены нормируемые значения потенциалов влажности внутреннего воздуха для сельскохозяйственных помещений различного функционального назначения.

Нормируемые параметры внутреннего воздуха для сельскохозяйственных помещений

№ п/п	Наименование помещений	Расчетная температура t_v , °С	Относительная влажность воздуха ϕ_v , %	Потенциал влажности θ_v , °В
1	Коровники, помещения для молодняка старше года, скота на откорме, быков	10	60	12,3
2	Телятники	12	60	13,3
3	Родильное отделение	15	60	15,3
4	Помещения для скота мясных пород	3	65	10,3
5	Помещения для хряков	16	60	16,1
6	Помещения для маток подсосных с поросятами	20	55	18,8
7	Помещения для свиней на откорме	18	55	16,6
8	Помещения для взрослых кур (напольное содержание)	17	65	18,4
9	Помещения для цыплят-бройлеров, крупных мясных цыплят в возрасте 1 недели (напольное содержание)	27	70	50,3
10	Помещения для взрослых уток (напольное содержание)	14	75	17,6
11	Помещения для молодняка уток в возрасте 2...4 недель (напольное содержание)	20	70	24,8
12	Помещения для хранения картофеля	4	90	12,5
13	Помещения для хранения капусты, моркови	1	90	11,3
14	Помещения для хранения лука, чеснока	0	80	10,4

ВЫВОДЫ

1. На основе экспериментальных исследований и сравнительного анализа результатов расчета значений потенциала влажности θ_n наружного воздуха показано, что величина θ_n может быть определена по соотношениям (6)–(9), учитывающим влияние влагосодержания, температуры и относительной влажности воздуха.

2. Определенные по зависимостям (6)–(9) значения потенциала влажности как внутреннего, так и наружного воздуха позволяют повысить точность выбора параметров в инженерных расчетах процессов сушки и хранения сельскохозяйственной продукции.

3. На основе требований нормативных документов получены значения потенциала влажности внутреннего воздуха в помещениях сельскохозяйственных зданий, которые могут быть использованы в тепловлажностных расчетах ограждающих конструкций и систем вентиляции животноводческих комплексов и хранилищ сельхозпродукции.

Список литературы

1. Бодров, В.И. Теплофизические характеристики теплового контура производственных сельскохозяйственных зданий / В.И. Бодров, М.Н. Кучеренко, Е.В. Чиркова // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 3. – С. 59–65.

2. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений / В.И. Бодров, М.В. Бодров, Е.Г. Ионычев, М.Н. Кучеренко. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2008. – 623 с.

3. Бодров, В.И. Термодинамическая трактовка графоаналитического решения задачи влагопереноса / В.И. Бодров, Л.М. Дыскин, М.Н. Кучеренко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2005. – № 9. – С. 47–51.

References

1. Bodrov, V.I. Thermophysical characteristics of the thermal circuit of industrial agricultural buildings / V.I. Bodrov, M.N. Kucherenko, E.V. Chirkova // Privolzhsky scientific journal. – 2014. – No. 3. – P. 59–65.

2. Microclimate of industrial agricultural buildings and structures / V.I. Bodrov, M.V. Bodrov, E.G. Ionechev, M.N. Kucherenko. – N. Novgorod: NNGASU, 2008. – 623 p.

3. Bodrov, V.I. Thermodynamic interpretation of the problem of moisture transfer graphoanalytic solution / V.I. Bodrov, L.M. Dyskin, M.N. Kucherenko // News of higher educational institutions. Construction. – 2005. – No. 9. – P. 47–51.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Петрянина Любовь Николаевна,
доцент 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

Petryanina Lyubov Nikolaevna,
Associate Professor of the department «Urban
construction and architecture»
E-mail: gsia@pguas.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЖИЛОГО РАЙОНА С УЧЕТОМ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Л.Н. Петрянина

Показана актуальность функциональной организации жилого района с учётом природных факторов. Разработан комплексный подход к зонированию жилого района, основанный на конкретных возможностях использования проектируемой территории. Предложены этапы определения ведущих элементов ландшафта и принцип разделения прилегающих к жилому району территорий. Определён порядок проведения мероприятий, влияющих на охрану и восстановление природной среды при проектировании функциональной организации жилой среды.

Ключевые слова: жилой район, функциональная организация, природная среда, экспериментальное проектирование, зонирование, микроклимат, прилегающие территории, комфортность городской среды, этапы учёта ландшафта

FUNCTIONAL ORGANIZATION OF RESIDENTIAL AREA WITH NATURAL ENVIRONMENT

L.N. Petryanina

The relevance of the functional organization of a residential area taking into account natural factors is shown. A comprehensive approach to residential zoning district based on the specific possibilities of the use of the territory is developed. The stages of the leading determining elements of the landscape and the principle of separation adjacent to the residential district areas are proposed. The procedure for activities affecting the protection and restoration of the natural environment in the design of the functional organization of the living environment is determine.

Keywords: urbanisation, functional organization, environment, experimental design, zoning, microclimate, surrounding area, comfort of urban environment, stages of landscape

Окружающая человека природная среда неизбежно претерпевает изменения в процессе его многогранной деятельности. Сохранность и рекультивация природы – важное условие комфортной городской среды, самая крупная составляющая которой – жилой район. Поэтому целью функциональной организации жилого района является учёт природных условий и рациональное использование каждого участка его территории. При этом приходится взаимоувязывать исходные природные особенности и нормативные требования к размещению объектов различного назначения и характер их влияния на природное окружение.

Такая функциональная организация жилого района была решена комплексно с учётом природных, архитектурно-художественных, технико-экономических и санитарно-гигиенических аспектов в индивидуальной творческой мастерской в процессе экспериментального проектирования. Особой частью функциональной структуры современного проектируемого жилого района стала разработка системы зон отдыха и рекреаций, которая решалась как внутри жилого района, так и на территориях, примыкающих к нему с учётом их роли и значимости при выполнении экологических задач. При построении системы зон отдыха экологический аспект имел особое значение.

Учёт природной среды при функциональной организации жилого района основывался на конкретных возможностях использования проектируемой территории под размещение следующих функциональных зон и их элементов:

- зона объектов, формирующих архитектурно-пространственную среду застройки жилого района: отдельные жилые дома и их группы, детские дошкольные и школьные учреждения, общественные и торговые центры и т.п., а также места приложения труда, которые могут находиться в жилом районе;

- зоны отдыха и рекреации;

- зона транспортно-пешеходных коммуникаций (трассы общественного и индивидуального транспорта и пешеходов, автостоянки и гаражи, места для технического обслуживания);

- охранные и защитные зоны.

Однако ранее ландшафтные составляющие при проектировании функциональных зон учитывались только комплексно, что не давало конкретного благоприятного результата по показателю комфорта городской среды.

Поэтому, исходя из безусловной предпосылки, что для каждой зоны в рамках общей функциональной организации жилой застройки определяются ведущие элементы ландшафта, характерные именно для этой зоны, предлагалось учитывать их на двух этапах. Во-первых, каждую функциональную зону рассматривали в соответствии с природными условиями, характерными для всего района, когда намечаются функциональные связи отдельных частей района со всей районной территорией и отдельными её зонами, уточняется функционально-планировочная структура жилого района в целом и определяется характер его застройки. Во-вторых, размещали элементы и объекты каждой функциональной зоны, учитывая природные данные отдельных частей района. Это позволило точнее определять реальные возможности размещения составляющих жилого района, строительные и эксплуатационные качества участков территории, их границы и т.п.

Решая задачу поэтапного учёта природных составляющих, для достижения желаемого результата основывались на данных, полученных при изучении как положительного, так и отрицательного опыта экспериментального проектирования и эксплуатации жилых районов с учётом природной среды.

Так, в ходе экспериментального проектирования при формировании архитектурно-пространственной среды застройки жилого района под размещение жилых зданий, детских дошкольных и школьных учреждений отводились территории с наиболее благоприятными микроклиматическими, ландшафтными и антропогенными условиями, отвечающие также требованиям современного строительства. Вместе с этим определялось зонирование зданий по этажности, осуществлялся выбор типов жилых и общественных зданий и приёмов их размещения с учётом основных элементов ландшафта.

При проектировании системы культурно-бытового обслуживания ведущим элементом ландшафта был принят рельеф, который при большой пересечённости обуславливал необходимость сокращения протяжённости пешеходных подходов на склонах, применение объектов повседневного обслуживания населения небольшой вместимости и размещение части таких объектов в общественных центрах районного значения, рассчитанных на транспортную доступность, и т. п.

На размещение зданий на территории жилого района также влияет рельеф, поэтому во избежание сложных земляных работ технически и экономически выгоднее

вести строительство на пологих склонах. Однако существуют интересные архитектурные решения и для крутых склонов, хотя в этом случае увеличиваются затраты на индивидуальные решения инженерных систем и общественного транспорта.

Поскольку микроклимат местности влияет на расходы на отопление или охлаждение зданий, в ходе экспериментального проектирования здания размещались так, чтобы рельеф и зоны озеленения защищали их от холодных ветров. Неблагоприятные микроклиматические условия были уменьшены путём озеленения застроенных участков. При объединении зданий в группы ликвидация ветровых коридоров осуществлена с помощью зелёных насаждений, разделяющих дворовое пространство.

Особое внимание уделено геологическим условиям и водному балансу территории. Здания размещены на экономически более выгодных грунтах таким образом, чтобы при выборе вида фундамента не приходилось менять решения. Место для строительства, эффективность и метод проведения строительных работ выбирались так, чтобы не нарушить водный баланс поверхностных и грунтовых вод окружающей местности, т.к. такие нарушения могут губительно сказаться на растительности, а при осадке грунта могут повреждаться инженерные сети. Основным принципом было максимальное сохранение естественных условий стока воды, что предполагает регулирование водного баланса техническими средствами.

Учтено, что открытые пространства с глинистыми почвами экономически не выгодны для строительства по условиям устройства фундаментов и по климатическим условиям, но представляют ценность для сельского хозяйства. Вполне оправданным решением на таких территориях стала застройка малоэтажными жилыми домами.

Вблизи открытых водоёмов между береговой линией и застройкой предусмотрена прибрежная растительная зона, где размещены и объекты обслуживания.

При проектировании на участках с лесной местностью в первую очередь сохранена растительность. Поэтому здания размещены только на свободных участках или участках с наиболее выносливыми насаждениями. Для строительства выбраны методы, наиболее соответствующие сохранности характерной для этой местности деревьев.

При проектировании системы озеленения на территории жилого района необходимо учитывать, что зелёные насаждения улучшают микроклимат, защищают от антропогенных факторов, применяются для устройства рекреаций.

При размещении зон отдыха и рекреаций в ходе экспериментального проектирования основополагающими явились два элемента ландшафта: существующие и проектируемые зелёные насаждения и водоёмы, а иногда и третий элемент – рельеф.

На размещение, размер и способ использования зон отдыха особенно влияют их удалённость от жилья, а также сравнение по привлекательности с другими местами для отдыха. Наиболее предпочтительными местами для отдыха в проекте были выбраны леса, опушки леса, водные бассейны и их береговые зоны, лесные склоны, а также территории с природными и культурно-историческими достопримечательностями.

На территориях, прилегающих к проектируемой, располагались участки естественного ландшафта, которыми будущие жители района будут пользоваться, поэтому целесообразно было включить в проектную документацию жилого района и проект планировки прилегающей зоны.

После изучения подобных градостроительных ситуаций для проекта планировки прилегающей территории был предложен принцип её разделения на три условных пояса: ближний, средний и дальний, что позволило выполнять зонирование более целесообразно, а ландшафтные территории преобразовывать и в дальнейшем эксплуатировать в соответствии с их статусом. Так, при разработке проекта прилегающей зоны стало целесообразным выделение зон отдыха, отличающихся по их интенсивности и направленности на разные времена года; зон строгой охраны ландшафта (заповедники, заказники); зон возможного преобразования ландшафта без застройки и с застройкой; зон искусственного ландшафта (водные бассейны, искусственный рельеф); зон застройки.

На размещение зон отдыха повлияли климатические и гигиенические условия окружающей среды. Так как зоны отдыха рекомендуется размещать в наиболее благоприятных для здоровья и приятных для пребывания местах, то для них были отведены наиболее тёплые и безветренные участки, с одной стороны, а с другой – площадки, обеспечивающие прохладу в летнее время. Для зон отдыха не использованы защитные зелёные полосы от транспортных магистралей и промышленности.

Популярность водных видов отдыха предполагала в проекте максимальное использование водоёмов и прибрежных мест для организации отдыха населения. По данным, полученным в ходе расчётов, созданы новые искусственные водоёмы и пруды, устроены запруды на реках и ручьях и рекомендована очистка загрязнённых водоёмов.

При проектировании зон отдыха сделан акцент на живую природу. Для каждого вида отдыха отведены наиболее подходящие участки с использованием при этом существующей растительности. Наиболее благоприятными явились участки с устойчивой растительностью, требующей минимальных дополнительных усилий и затрат для поддержания её экологического равновесия.

Крупные зоны отдыха, создаваемые в естественных условиях, организованы таким образом, чтобы они содержали как можно больше разнообразной растительности, а также чтобы в её составе были деревья и кустарники разного возраста, характерные для данного района.

При определении границ зон отдыха по возможности сохранён естественный край леса, т. к. с экологической точки зрения на размещение, величину и способ использования зон отдыха влияет фактор поддержания равновесия в природе.

Для сохранения живой природы при проектировании зон отдыха и территорий прилегающих районов образованы непрерывные и по возможности наиболее приближенные к естественным природным условиям растительные полосы – «экологические коридоры», по которым могут передвигаться животные.

Заслуживает внимания метод, способствующий сохранению природы и организации отдыха на воздухе, – это создание специальной сети пешеходных тропинок, формирующей разнообразное восприятие ландшафта. Поэтому в больших лесных массивах оставлены участки без тропинок или с недоработанной сетью тропинок. Для сохранения ценных участков леса выход с тропинок ограничен высадкой густого кустарника. С этой же целью выполнена ограда из пояса колючих кустарников.

При проектировании транспортных и пешеходных коммуникаций основными ландшафтными элементами стали рельеф и геологические условия, в соответствии с которыми определились участки, наиболее удобные по уклонам для организации трасс жилых улиц, внутренних проездов, автостоянок, пешеходных аллей. В соответствии с геологией выделены участки под размещение подземных и полуподземных автостоянок.

Поскольку рельеф и геологические условия могут значительно удорожать строительство, были проложены транспортные трассы и инженерные сети по наиболее возможным кратчайшим расстояниям с целью снижения объёма земляных работ. Наиболее выгодно проложены дороги и инженерные линейные объекты по территориям с более прочным по несущей способности грунтом. При их прокладке на участках с непрочными грунтами длину инженерных коммуникаций по возможности ограничивают. При прокладке дорог и подземных коммуникаций было учтено их влияние на состояние поверхностных и грунтовых вод.

При проектировании системы транспортных и пешеходных коммуникаций на участках с пересечённым рельефом местности потребовалось соответствующее решение сети улиц и размещение остановок общественного транспорта с учётом удобного обслуживания жилой застройки, расположенной на разных отметках.

При проектировании пешеходных дорог предложены удобные пути движения для пешеходов без излишне крутых подъёмов и предусмотрено специальное дорожное покрытие для инвалидов.

Проектируя транспортные и пешеходные трассы, необходимо учитывать опасность их прокладки по участкам с повышенной туманностью и с возможностью снежных заносов из-за ухудшения видимости и опасности обледенения поверхности дороги.

По санитарно-гигиеническим требованиям к качеству среды учтено влияние природных условий на распространение загрязненного воздуха и шума, создаваемого проектируемыми дорогами. В этом случае важными факторами явились трассировка и способ прокладки дорог. При этом в проекте стремились к тому, чтобы оживлённые магистрали и улицы не располагались по рельефу выше окружающей местности, т.к. загрязнения и шум от них распространяются достаточно далеко. Вдоль трасс движения автомобильного и рельсового транспорта предусмотрены защитные зоны, для которых использованы естественные препятствия: существующая растительность или формы рельефа. При необходимости заложено возведение искусственных защитных сооружений. Оживлённые улицы имеют достаточную проветриваемость.

Создание системы охранно-защитных зон в экспериментальном проектировании направлено на сохранение естественной природы и на оздоровление окружающей среды.

На размещение, величину и использование защитных зон в проекте влияет взаимное расположение объектов, в большей степени оказывающих негативное воздействие на природу и человека (промышленные предприятия, электростанции, магистрали и т.п.). По назначению различают защитные зоны для защиты от загрязнения воздуха, шума, вибрации, ветра, а также от грунтовых вод, наводнений, излучений и для визуальной защиты.

Защитные зоны размещены в соответствии с планировочной структурой жилого района, при этом рассматривался каждый участок защитных зон отдельно с целью его использования и для других функций. Проектирование защитных зон максимально учитывало природные возможности, поэтому потребность в посадке новой растительности и создании искусственных защитных сооружений оказалась минимальной.

При разработке проекта сохранены существующие лесные территории, а также заложены новые лесопосадки, т. к. лесные массивы могут служить зонами отдыха, являясь средством защиты от загрязнения воздуха и шума, регулятором микроклимата.

Размещение и границы природоохранных зон определены в зависимости от назначения охраняемых объектов, степени их потребности в защите. Защита природы жилого района не обязательно должна решаться одинаково для всей территории, т.к. каждый участок может обладать локальными ценными свойствами почв, водоёмов, растительности, животного мира и иметь уникальные объекты, требующие различных мероприятий.

В проекте предусмотрены меры по сохранности зелёных насаждений и других элементов живой природы, которая достигнута формированием единой ландшафтно-планировочной структуры озеленённых пространств путём последовательного зонирования территории: от периферийной через буферную к центральной зоне, в которой предусматриваются минимальные функциональные нагрузки. В периферийной зоне по границе зелёного массива созданы плотные опушки зелёных насаждений из газопылеустойчивого ассортимента деревьев и кустарников. Такие меры дополнены разработкой долгосрочного плана мероприятий по охране и рекультивации зелёных насаждений в процессе их эксплуатации после завершения строительства.

При экспериментальном проектировании жилого района предусмотрены мероприятия по охране, развитию и созданию зон обитания животных с учетом того, что основными представителями фауны в жилых районах являются птицы.

Для реальной охраны и обогащения живой природы при проектировании функциональной структуры жилого района в ходе экспериментального проектирования предложен следующий порядок проведения целенаправленных мероприятий:

– создание «экологических коридоров» путём обеспечения по возможности непрерывной системы зелёных насаждений на территории проектируемого жилого района и прилегающих к нему участках и её связи с пригородными лесопарками;

– создание в существующих зелёных массивах «микрорезерватов» в виде участков ограниченной посещаемости, например устройство водоёмов и озеленение

их берегов с выделением участков прибрежной полосы, ограниченной для посещения людьми;

– создание и посадка наиболее благоприятных для гнездования кустарников, деревьев с соответствующей архитектурой крон;

– создание защиты внутридомовых и дворовых пространств, всей территории жилых районов и зон отдыха от автотранспортных выбросов, шума и пыли, т.к. эти проблемы можно лишь частично смягчить, но не ликвидировать при решении функциональной структуры проектируемого района; поэтому для снижения концентрации вредных автотранспортных выбросов необходимо предусматривать оптимальное соотношение ширины магистрали к высоте прилегающих зданий, а для дополнительного рассеивания вредных выбросов открытые пространства по возможности открывать в сторону господствующих ветров; для снижения шума использовать градостроительные средства: размещение вдоль магистральных улиц специальных шумозащитных зданий, удаление от таких улиц садов, площадок отдыха, детских школьных и дошкольных учреждений, приближение объектов коммунально-складского назначения к магистральным улицам для сокращения протяжённости проездов к ним по застроенной территории; использование специальных шумозащитных устройств; в пределах жилой территории применение шумозащитных зелёных насаждений.

Таким образом, в процессе экспериментального проектирования функциональной организации жилого района с учётом природной среды предложены:

1) поэтапный учёт в ходе проектирования ведущих элементов ландшафта для лучшей их оценки и использования;

2) использование принципа подразделения прилегающих к жилому району территорий при разработке проекта планировки;

3) порядок проведения мероприятий по охране природных элементов.

Это позволит, с одной стороны, сохранить и улучшить исходные природные элементы территории проектируемого жилого района по их реальным показателям, с другой – максимально обеспечить создание комфортной среды при решении функционального зонирования жилого района в ходе реального проектирования, т.е. значительно увеличить многокомпонентный показатель комфортности городской среды.

Список литературы

1. Петрянина, Л.Н. Оценка существующей среды при архитектурно-строительном проектировании / Л.Н. Петрянина // News of Science and Education. – 2017. – Т.4, № 12. – С.54–56.
2. Петрянина, Л.Н. Учёт природно-климатических условий в архитектурном проектировании / Л.Н.Петрянина, М.А.Дерина // Вестник ПГУАС: строительство, наука, образование. – 2016. – №2(3). – С.41–48.
3. Береговой, А.М. Оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через пористую структуру /А.М. Береговой, М.А. Дерина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №1. – С.85.
4. Оценка энергетической эффективности зданий при проектировании: монография / О.Л. Викторова, Л.Н. Петрянина, М.А. Дерина, В.В. Викторова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – С.65–79.

References

1. Petryanina, L.N. Evaluation of existing environment in architectural projects / L.N. Petryanina // News of Science and Education. – 2017. – Vol. 4, No.12. – P. 54–56.
2. Petryanina, L.N. Given climatic conditions accounting in architectural design / L.N. Petryanina, M.A. Derina // Bulletin PGUAS: construction, science, education. – 2016. – №2(3). – P. 41–48.
3. Beregovoy, A.M. Evaluation of thermal losses in exfiltration of air through a porous structure / A.M. Beregovoy, M.A. Derina // Regional architecture and engineering. – 2016. – №1. – P. 85.
4. Evaluation of energy efficiency of buildings in the design: monograph / O.L. Viktorova, L.N. Petryanina, M.A. Derina, V.V. Viktorova. – Penza: PGUAS, 2014. – P. 65–79.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 004.725

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Васин Леонид Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: leo@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Vasin Leonid Anatolievich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Information-
computing systems»
E-mail: leo@pguas.ru

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Л.А. Васин

Рассмотрен вариант построения системы беспроводного доступа университета к ресурсам электронной информационной образовательной среды (ЭИОС) и компьютерной сети Интернет. Беспроводной доступ ориентирован на применение мобильных пользовательских средств, таких, как портативные компьютеры (ноутбуки), коммуникаторы, нетбуки. Система осуществляет автоматическое получение сетевых настроек, устанавливает сетевое соединение, проводит авторизацию пользователя и обеспечивает преподавателям и студентам персонализированный беспроводной доступ.

Наличие механизма авторизации пользователей позволяет исключить возможность несанкционированного доступа к ЭИОС и соблюсти требование законодательства в части организации беспроводного доступа WiFi.

Использование такой системы позволяет решить проблему коллективного доступа к информационным ресурсам ЭИОС, что повысит эффективность учебного процесса в университете и обеспечит возможность его организации в электронной форме.

Отличительной особенностью построения такой системы является широкое применение программных компонент с открытым исходным кодом, использующих лицензию GPL и функционирующих на платформе Linux.

Рассматривается практическая реализация системы беспроводного доступа ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

Ключевые слова: информационная среда, компьютерная сеть, система беспроводного доступа, авторизация, сервер каталога

ARCHITECTURE OF THE WIRELESS ACCESS SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE BUILDING UNIVERSITY

L.A. Vasin

The option of building a wireless access system for the university's information system is considered, which provides the educational process with access to the resources of the electronic information educational environment and the Internet computer network. Wireless access is focused on the use of mobile user tools, such as laptop computers (laptops), communicators, netbooks. The system automatically obtains network settings, establishes a network connection, authorizes the user, and provides teachers and students with personalized wireless access.

The presence of the authorization mechanism allows users to exclude the possibility of unauthorized access to the IEEE and comply with the requirement of legislation regarding the organization of wireless WiFi access. The use of such a system allows solving the problem of collective access to information resources of the EIOS, which increases the ineffectiveness of the educational process at the university and provides the possibility of its organization in electronic form.

A distinctive feature of the construction of such a system is the widespread use of software components with open source code using the GPL license operating on the Linux platform.

The practical implementation of the wireless access system FGBOU VO «Penza State University of Architecture and Construction» is considered.

Keywords: information environment, computer network, wireless access system, authorization, server directory

Введение

При развёртывании сети в университете используется технология WiFi стандарта IEEE 802.11n. Она позволяет организовать передачу данных со скоростью до 300 Мбит/с, что эффективно при потреблении мультимедийного информационного контента и практически не ограничивает количество подключаемых пользователей. Выбор стандарта обусловлен существующим беспроводным сетевым оборудованием, в частности применяемыми точками доступа. Для обеспечения гарантированного и качественного доступа выполнены несколько условий:

1. Рассчитано количество необходимого оборудования для гарантированного обеспечения зоны покрытия качественным радиосигналом.

2. Беспроводные точки доступа обеспечены качественным каналом передачи данных и электропитанием с использованием технологии PoE до пунктов коммутации компьютерной сети.

3. Устранены возможные места перегрузки точек коммутации.

4. Создана система аутентификации и разграничения доступа, которая обеспечит надёжную защиту от компрометации сети и предоставит пользователям различный уровень доступа к информации.

5. Интегрирован беспроводной сегмент сетевого доступа в существующую сетевую адресацию компьютерной сети.

Система беспроводного доступа университета состоит из двух функциональных компонент: одна отвечает за авторизацию, аутентификацию пользователя, другая обеспечивает сетевой трафик. Авторизация осуществляет верификацию пользовательских данных, хранящихся в ЭИОС университета, и при успешном её завершении проводится процесс аутентификации. Для выполнения этого условия аппаратная платформа системы беспроводного доступа обеспечена точками доступа, поддерживающими корпоративные стандарты аутентификации пользователей, построенные на базе WPA2-Enterprise с аутентификацией по аккаунту ЭИОС. Обеспечение организации безопасного сетевого трафика организуется путем изоляции сетевого трафика беспроводного сегмента в отдельные виртуальные подсети на физическом уровне модели стека сетевых протоколов TCP/IP.

В ЭИОС университета хранение пользовательских данных организовано сервером каталога, поддерживающим протокол LDAP, что позволяет использовать существующую информацию по пользовательским аккаунтам при создании новых сетевых сервисных служб. Пользователи ЭИОС после прохождения процедуры регистрации в

системе, которую осуществляет вычислительный центр университета, получают единый набор персональных данных, позволяющий осуществлять доступ к сетевым и информационным ресурсам. Для интеграции аппаратного обеспечения системы беспроводного доступа используется специализированный протокол RADIUS, обеспечивающий реализацию аутентификации, авторизацию, а также сбор сведений об использовании сетевых ресурсов. Для их использования системой управления беспроводным доступом реализуется программное обеспечение, входящее в состав ОС CentOS Linux, что позволяет в дальнейшем осуществить переход на отечественные операционные системы, построенные на основе ядра Linux, в частности ОС Astra, ALT. Функционирование системы беспроводного доступа с подобной архитектурой позволяет развернуть систему с минимальными затратами на приобретение программно-аппаратных компонент и высокой степенью защищенности.

Основная часть

Сетевая организация беспроводного доступа подразумевает использование изоляции сетевого трафика; это обусловлено созданием двух зон беспроводного доступа – так называемый «гостевой» и «приватной». Это позволяет обеспечивать «гостевых» пользователей временным доступом к компьютерной сети Интернет без доступа к ЭИОС, что необходимо при проведении мероприятий с приглашенными участниками без создания дополнительных аккаунтов. Кроме этого, разграничиваются зоны доступа для преподавателей и студентов. При этом гости будут изолированы в рамках гостевой беспроводной сети и не получают доступ к локальной сети компании. Беспроводной сегмент формируется на основе управляемых точек доступа и должен подключаться к существующей сетевой инфраструктуре университета, реализованной на управляемых коммутаторах второго уровня. Это может быть организовано с использованием виртуальных компьютерных сетей VLAN и технологии IEEE 802.1Q и Multi-SSID. Беспроводное оборудование выбирается таким образом, чтобы осуществлялась поддержка этих технологий. Суть их использования заключается в том, что каждая из зон доступа имеет свое название SSID и они изолированы друг от друга на уровне Ethernet, а при подключении точки доступа к VLAN кадры от этих сетей будут маркироваться соответствующим номером.

На рис.1 показана структурная организация беспроводной сети с использованием VLAN и MultiSSID. В качестве основного параметра точки доступа используется ее имя SSID, которое периодически транслируется в широковещательных сетевых пакетах. Использование нескольких имен в одной точке доступа MultiSSID позволяет создавать несколько зон беспроводного доступа без применения дополнительных аппаратных ресурсов, что экономит частотный ресурс.

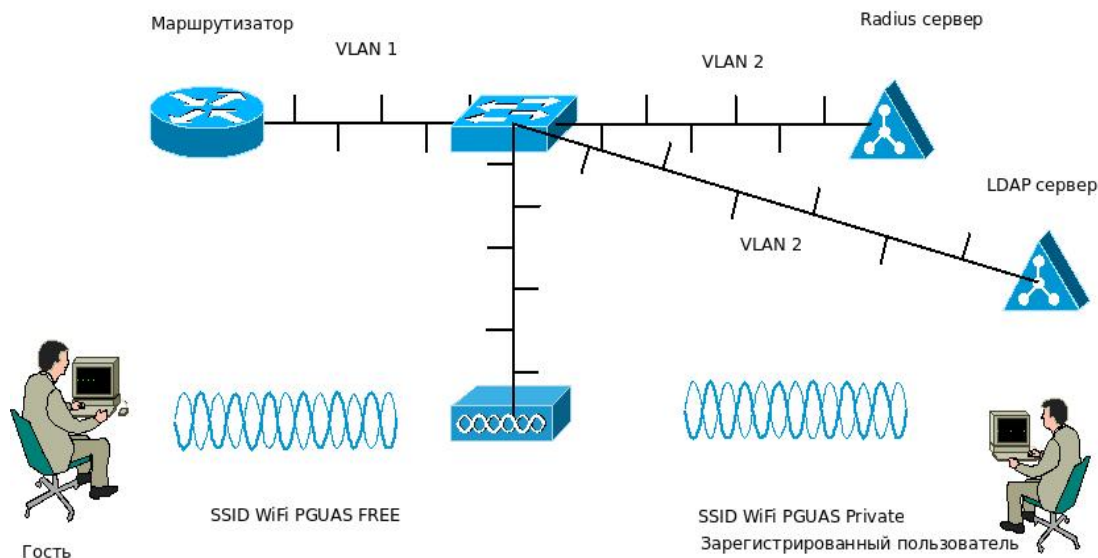


Рис. 1. Сетевая организация беспроводного доступа

Существует несколько способов организации VLAN: на базе портов, MAC-адресов или протоколов третьего уровня и на основе правил. В компьютерной сети университета используется организация VLAN на базе портов, когда VLAN организуются путем логического объединения выбранных физических портов коммутатора. Такая жесткая привязка членства в VLAN и номера порта является недостатком способа организации виртуальных сетей на базе портов, но при стационарном использовании конечного оборудования вполне допустима.

В системе используются точки доступа Dlink DWL-3200 корпоративного уровня, поддерживающие технологии подачи питания по PoE, функция Multi-SSID с поддержкой 802.1Q современного протокола шифрования WPA2-Enterprise (IEEE 802.11i) и усиленные антенны на 5dBi.

Применение в корпоративной сети протокола WPA2-Enterprise основано на аутентификации по протоколу 802.1x через внешний RADIUS-сервер, что позволяет использовать внешнюю базу данных пользователей. Этот протокол определяет методы отправки и приема запроса данных аутентификации и поддерживается операционными системами. На платформе CentOS Linux развернут сервер FreeRADIUS, который настроен на получение пользовательских данных с существующего сервера каталога OpenLDAP. На рис. 2 показана иерархическая структура сервера каталога ПГУАС.

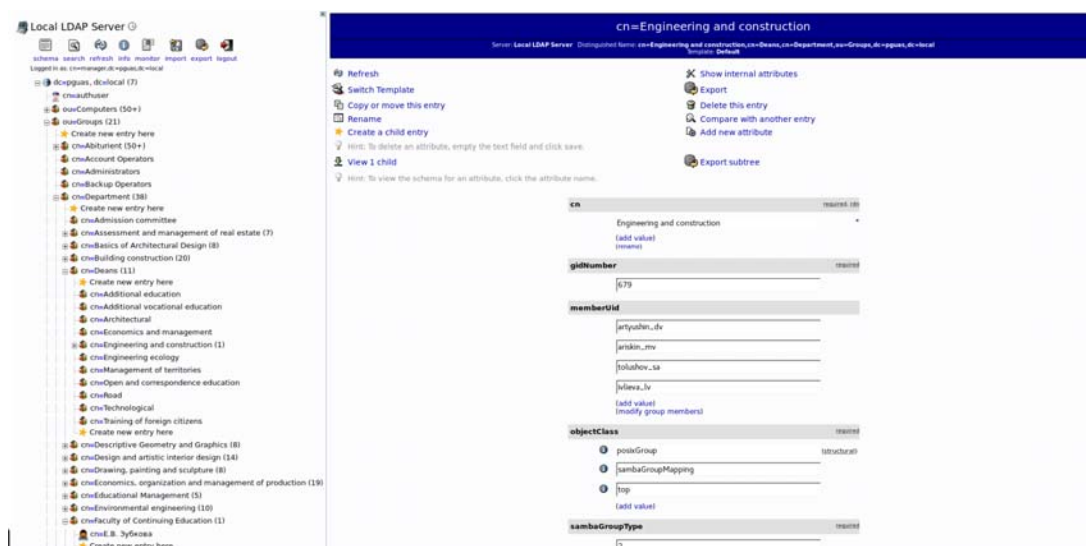


Рис. 2. Структура сервера каталога LDAP ПГУАС

В настройках FreeRADIUS указываются параметры пользовательских атрибутов иерархической структуры LDAP. Применение таких записей позволяет разрешать или запрещать использование беспроводного доступа для определенных категорий пользователей ЭИОС.

На рис. 3 показана организация системы аутентификации пользователя. В ней присутствуют следующие объекты беспроводной сети ПГУАС:

- клиент (supplicant) – клиентское пользовательское устройство (ноутбук, нетбук, коммуникатор, планшет);
- сервер аутентификации – используется FreeRADIUS;
- аутентификатор – точка доступа, которая соединяет множество клиентских устройств с сервером аутентификации и отключает/подключает клиентские устройства.

В такой системе любое взаимодействие беспроводной точки доступа и клиента построено на использовании процессов:

- аутентификации – беспроводной клиент и точка доступа организуют информационное взаимодействие, и приходит уведомление о том, что возможно дальнейшее взаимодействие;
- шифрования – выбор необходимого алгоритма для генерации ключа и передачи зашифрованного трафика.

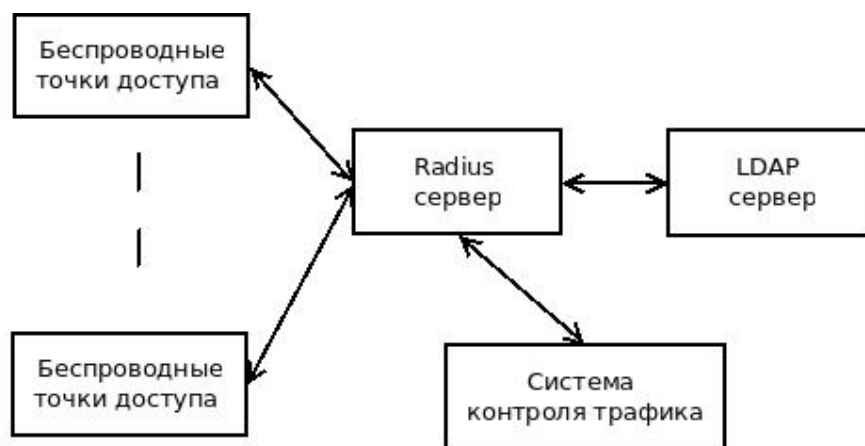


Рис. 3. Схема взаимодействия сервера аутентификации

Для обеспечения безопасности беспроводной сети ПГУАС точки доступа настроены на поддержку только протокола WPA2-Enterprise и цифровых сертификатов безопасности в сочетании с протоколом EAP-TLS или EAP-TTLS. В беспроводной сети ПГУАС цифровые сертификаты автоматически передаются на мобильное устройство при его первоначальном подключении к точке доступа. Сертификат – это созданный специально сгенерированный файл (или файлы), который хранится на сервере RADIUS и в клиентском устройстве. Клиент и сервер аутентификации проводят верификацию этих файлов, что гарантирует защиту от несанкционированных подключений с чужих устройств и от создания ложных беспроводных точек доступа. Протоколы EAP-TTL/TTLS входят в стандарт 802.1X и используют для обмена данными между клиентом и RADIUS инфраструктуру открытых ключей (PKI). При авторизации используются секретный ключ (знает пользователь) и открытый ключ (хранится в сертификате, потенциально известен всем). PKI обеспечивает надежную аутентификацию беспроводного доступа. В настоящее время используется один сертификат для всех устройств, но для организации более надежной защиты планируется проводить генерацию для каждого устройства, имеющего доступ к определенным ресурсам, например администратором сети, имеющим доступ к административным интерфейсам ЭИОС.

Выводы:

1. Показана возможность создания системы беспроводного доступа на платформе открытого программного обеспечения.
2. Использована технология VLAN для создания нескольких зон беспроводного доступа.
3. Сервер каталога LDAP позволяет задействовать существующие пользовательские аккаунты для проведения процедуры аутентификации пользователя.

Список литературы

1. Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2017. – 992 с.
2. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11: практическое руководство по изучению, разработке и использованию беспроводных ЛВС стандарта 802.11: пер. с англ. / Педжман Рошан, Джонатан Лиэри. – М.: Cisco Press: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 302 с.
3. Unix и Linux. Руководство системного администратора / Эви Неме, Гарт Снайдер, Тренд Р.Хейн, Б.Н Уэйли. – М.: Вильямс, 2014. – 1312 с.

References

1. Olifer, V.G. Computer networks. Principles, technologies, protocols / V.G. Olifer, N.A. Olifer. – St. Petersburg: Peter, 2017. – 992 p.
2. Fundamentals of building wireless LANs of the 802.11 standard: A Practical Guide to the Study, Development and Use of 802.11 Wireless LANs: translation from the english / Pajman Roshan, Jonathan Liery. – M.: Cisco Press: Publishing House «Williams», 2004. – 302 p.
3. Unix and Linux. System Administrator's Guide / Evi Neme, Garth Snyder, Trend R.Hein, B.N. Wayley. – M.: Williams, 2014. – 1312 p.

УДК 004.4

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

Васин Леонид Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: leo@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Vasin Leonid Anatolievich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Information-
computing systems»
E-mail: leo@pguas.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Л.А. Васин

Описан способ реализации электронного документооборота кафедры «Информационно-вычислительные системы» ПГУАС на базе открытого программного обеспечения на основе операционной системы Linux. Показано, что использование системы электронного документооборота позволяет повысить эффективность организационно-распорядительного документооборота, а также упростить повседневную работу профессорско-преподавательского состава кафедры.

Использование системы электронного документооборота позволяет обеспечить хранение всей документации кафедры, возможность работы с ней через компьютерную сеть Интернет, контроль и фиксацию работы с распорядительной документацией.

Реализация системы документооборота на основе открытого программного обеспечения позволяет построить её без привлечения больших финансовых затрат и интегрировать в существующую инфраструктуру университета, которая также функционирует на аналогичном программном обеспечении.

Ключевые слова: информационная среда, система электронного документооборота, файловый архив, компьютерная сеть

APPROACH TO ORGANIZING ELECTRONIC DOCUMENT REFERENCE IN PREPARATION OF BUILDING PROFILE SPECIALISTS

L.A. Vasin

The paper describes the method for implementing the electronic workflow of the department «Information and Computing Systems» on the basis of open source software based on the Linux operating system. The use of the document management system makes it possible to improve the efficiency of organizational and administrative workflow, and also to increase the efficiency and simplify the work of faculty, creating documents and using them in daily work.

The use of the electronic document management system allows to ensure the storage of all the documentation of the department with the ability to work with it through the Internet computer network and provides control and recording of the implementation of the administrative documentation of the department and the university.

The implementation of the document management system on the basis of open source software makes it possible to build it without incurring large financial costs and to integrate it into the existing university infrastructure that also functions on similar software.

Keywords: information environment, electronic document management system, file archive, computer network

Введение

Существующая в настоящее время информационная система университета позволяет автоматизировать управление учебным и хозяйственным процессами. Управление информационными ресурсами является ее основным функциональным назначением. С увеличением потока и объема информации появляется необходимость создания специализированного компонента для управления организацией обмена информацией между структурными подразделениями [1]. Так как большая часть информации сформирована в виде документов, возникает задача создания и внедрения системы электронного документооборота (СЭД), который представляет собой совокупность аппаратно-программных компонент, а также ряда взаимодействующих между собой программных процедур, которые вместе обеспечивают организацию движения и контроль документов в университете с момента их генерации и до исполнения в подразделениях. Кроме этого, СЭД позволяет сократить время доставки и объемы передаваемой бумажной корреспонденции и значительно удешевить их хранение.

СЭД университета выполняет следующие функции [2]:

- 1) ввод данных документов с бумажных носителей;
- 2) формирование требуем задачи исполнителю или группе исполнителей, с указанием сроков выполнения;
- 3) отправку электронных документов адресатам;
- 4) обработку электронного документа с выбором порядка его выполнения и исполнителей;
- 5) контроль этапов выполнения документа;
- 6) процедуру контроля исполнения документа;
- 7) формирование хранилища документов с оперативной и долгосрочной документацией.

СЭД функционирует в составе информационной системы университета. Кроме этого, она интегрирована в существующую информационную систему, использует существующую базу пользователей и осуществляет поддержку существующих файловых расширений, применяемых в офисных программных пакетах. Она обеспечивает автоматизацию процессов: приема, обработки и распределения поступающей корреспонденции; подписания, регистрации и рассылки исходящей корреспонденции; подписания, регистрации и отправки внутренних и организационно-распорядительных документов; переписки между организациями и отдельными подразделениями. Также обеспечивается удаленный доступ с использованием компьютерной сети Интернет на платформах мобильных операционных систем, что позволяет иметь неограниченный доступ к оперативной информации, а также к архиву электронных документов вне зависимости от географического местоположения пользователя.

Основная часть

Внедрение автоматизированной системы управления в деятельность образовательного учреждения позволяет решить следующие задачи:

- добиться прозрачности всех процессов управления образовательным учреждением;
- планировать учебную нагрузку преподавателей, контролировать ее выполнение и составлять расписание занятий;
- контролировать успеваемость, посещаемость занятий и оплату за обучение с момента поступления до выпуска обучающегося;
- повысить контроль качества оказания образовательных услуг; автоматизировать документооборот с подготовкой всей необходимой учебной документации и контролировать исполнительскую дисциплину сотрудников, участвующих в организации учебного процесса;
- реализовывать изучение отдельных учебных дисциплин или всего учебного курса с применением дистанционных технологий

Система управления учебным процессом [1] представлена тремя уровнями (рис. 1):

- 1) ректорат (уровень университета);

- 2) деканат (уровень факультета);
- 3) кафедра (уровень кафедры).

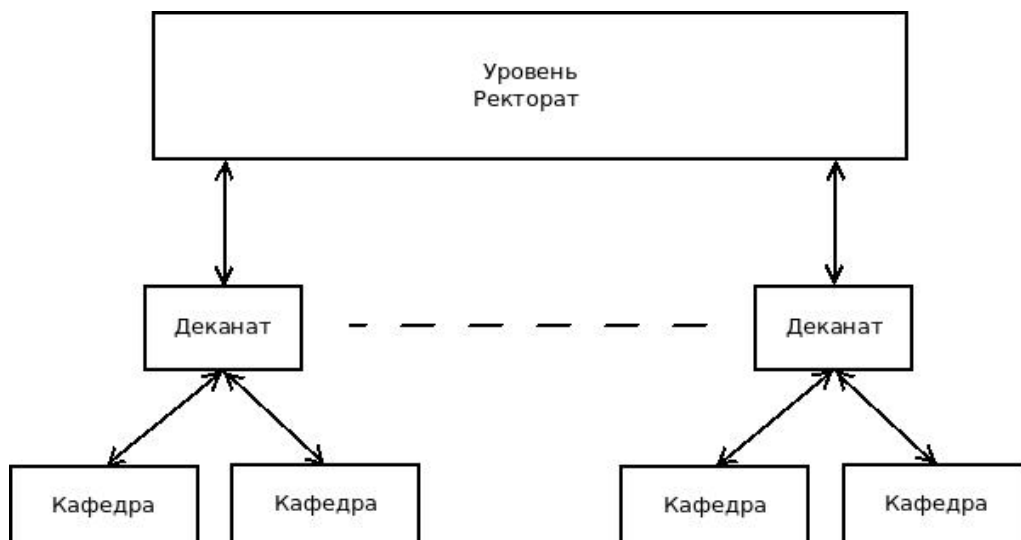


Рис. 1. Уровни управления учебным процессом

Схема документооборота в учебном процессе на уровне кафедры отражает связи следующих документов (рис. 2):

- 1) план деканата (входной документ);
- 2) план нагрузки (разработка кафедры);
- 3) план преподавателя (разработка кафедры);
- 4) расписание (разработка кафедры);
- 5) индивидуальный план преподавателя (разработка кафедры);
- 6) журнал учета выполненных преподавателем учебных работ (выполняет преподаватель);
- 7) индивидуальный отчет преподавателя (выполняет преподаватель);
- 8) отчет кафедры (разработка кафедры).

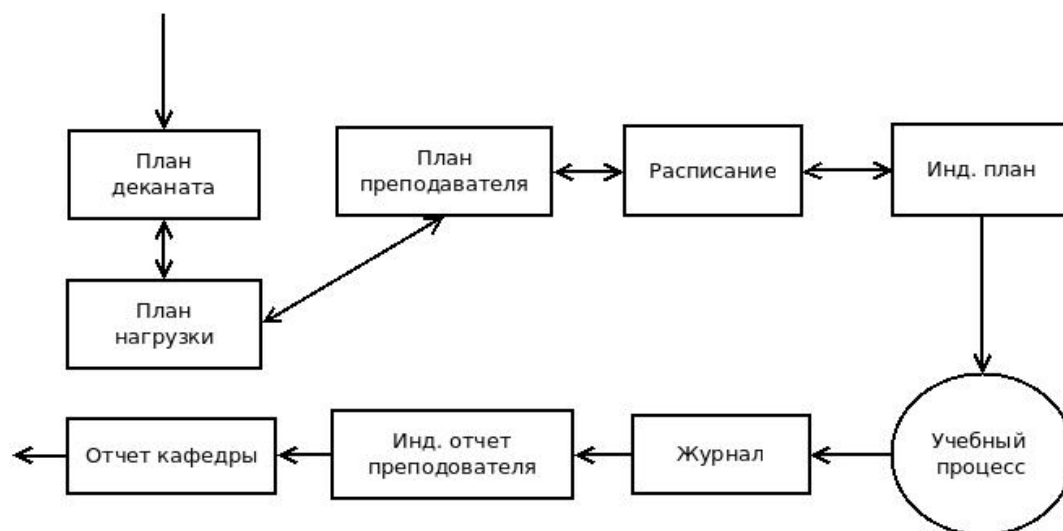


Рис. 2. Схема документооборота учебного процесса на кафедре

Система электронного документооборота кафедры должна:

- быть самой нижней подсистемой в структуре системы управления учебным процессом вуза;
- отвечать нуждам кафедры;

– обеспечить минимизацию трудоемкости учета отчетности и анализа нагрузки преподавателя;

– обеспечить формирование и возможность быстрого вывода на печать необходимых документов для отчета преподавателя и кафедры.

Результатом внедрения СЭД в университете является повышение качества принимаемых управленческих решений, непосредственно влияющих на эффективность работы вуза.

В информационной системе университета создана СЭД, которая обеспечивает выполнение всех необходимых операций по управлению потоками документов в управленческих процессах университета. Отличительная особенность реализованной СЭД – в применении открытого программного обеспечения с лицензией GPL с использованием операционной системы (ОС) Linux, в частности CentOS. Применение данной ОС позволяет использовать все положительные аспекты этого класса программного обеспечения (ПО), а также обеспечить плавный переход на отечественное ПО. Эта система функционирует в пределах информационного поля университета и доступна всем категориям пользователей кафедры, которые осуществляют работу с документами различных уровней.

СЭД поддерживает протокол LDAP, что обеспечивает интеграцию с существующим сервером каталога. Это позволяет использовать для организации аутентификации и авторизации существующую в информационной системе пользовательскую базу.

СЭД построена на основе платформы Alfresco – интегрированной системы электронного документооборота и системы управления контентом (ECM). Alfresco – «open source» система управления контентом корпоративного уровня, с открытыми стандартами, для платформ Linux. Архитектурно эта платформа реализована исключительно на открытых стандартах, в разработке используется принцип свободного ПО, доступен исходный код системы. Модульный дизайн позволяет при необходимости выбирать между нужной функциональностью и производительностью.

Доступ к СЭД осуществляется по сетевому адресу <http://docs.pguas.ru/>. В открывшейся форме авторизации (рис. 3) указываются имя пользователя и пароль. Если имя пользователя и пароль введены корректно, то произойдет переход на домашнюю страницу пользователя системы (рис. 4).

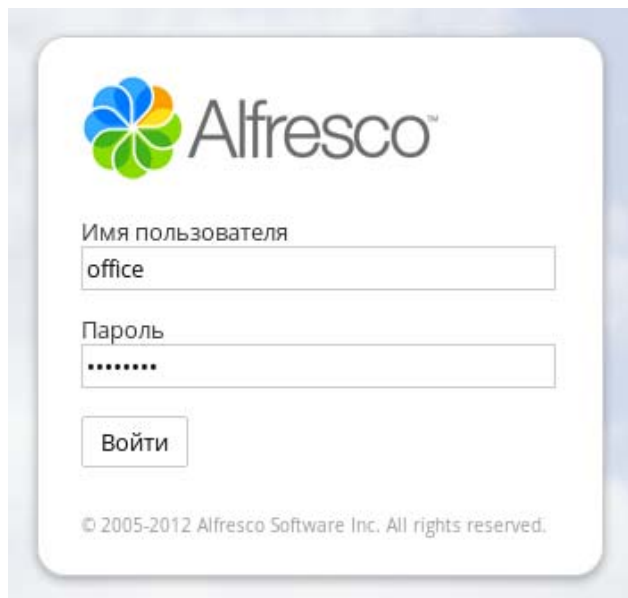


Рис. 3. Форма авторизации пользователя

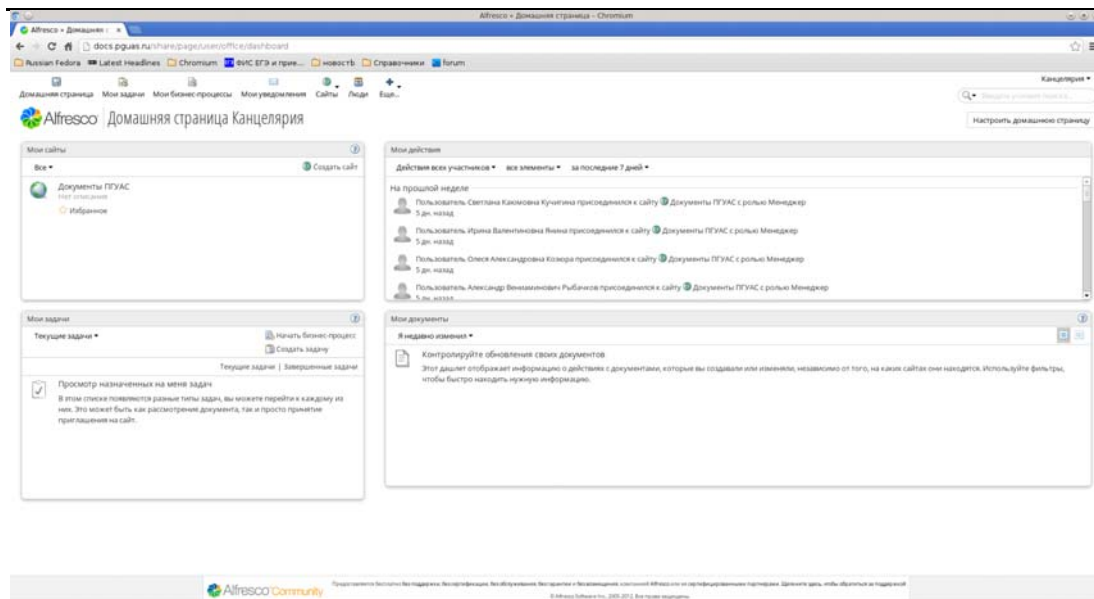


Рис. 4. Домашняя страница пользователя «Канцелярия»

По умолчанию на домашней странице представлены следующие дашлеты:

- «Мои сайты» – список сайтов, к которым у пользователя есть доступ (например, «Документы ПГУАС»);
- «Мои задачи» – задачи, которые были назначены пользователю;
- «Мои действия» – перечень действий участников системы за определенный период;
- «Мои документы» – список документов, с которыми работал пользователь.

Система документооборота позволяет создавать и назначать пользователям задачи.

При этом для пользователей предусмотрены следующие роли:

- «автор» – пользователь, создающий задачу;
- «контролер» – пользователь, осуществляющий контроль выполнения задачи, назначается автором;
- «исполнитель» – пользователь, которому была назначена задача;
- «получатель» – пользователь, которому направлялась задача в процессе её исполнения.

Создать задачу можно несколькими способами:

- из дашлета «Мои задачи» путем нажатия кнопки «Создать задачу» (рис. 5);
- из раздела главного меню «Мои задачи» нажатием кнопки «Создать задачу» (рис. 6).

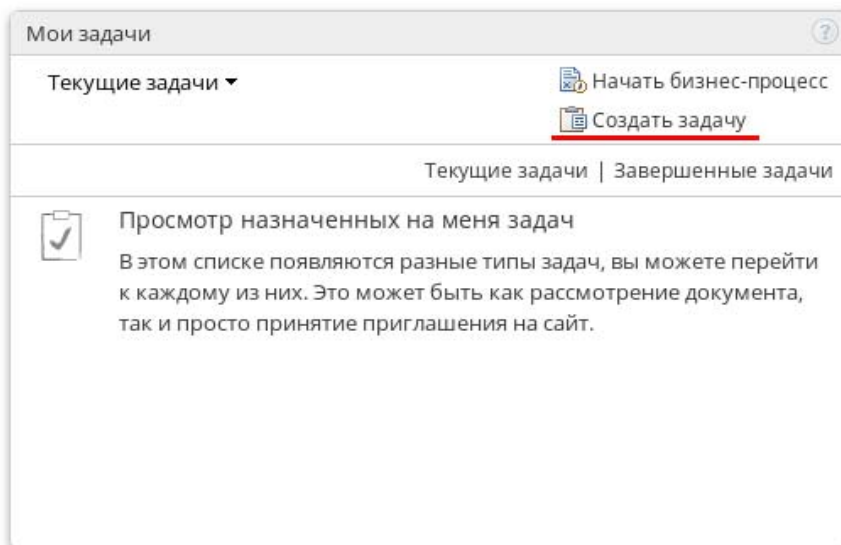


Рис. 5. Дашлет «Мои задачи»

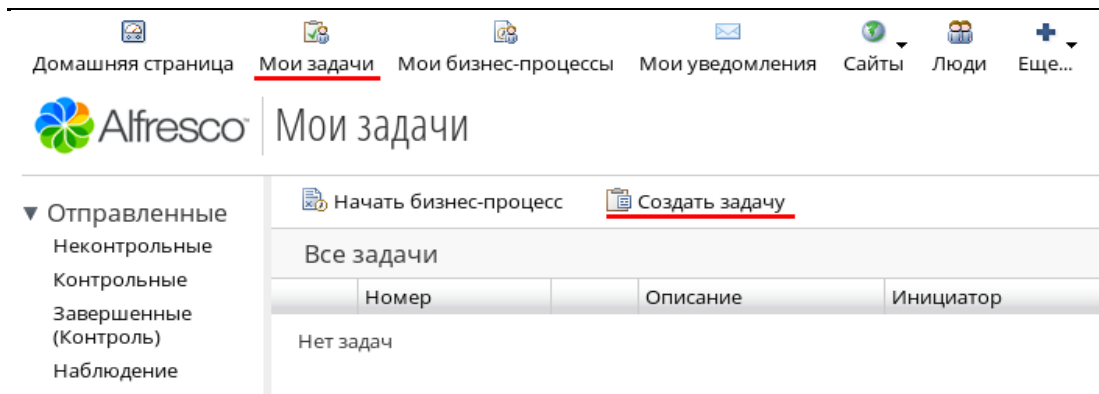


Рис. 6. Раздел меню «Мои задачи»

После нажатия произойдет переход на страницу «Создать задачу» (рис. 7), которая содержит следующие параметры:

- «Получатели» – пользователь (или группа), которому назначается задача;
- «Групповая» – если флаг не установлен, то для каждого из получателей создается отдельный экземпляр задачи, иначе один из выбранных пользователей должен назначить исполнителем себя;
- «Контрольная» – отслеживание хода выполнения задачи, а также её закрытие; осуществляется контролером;
- «На контроле» – пользователь или группа, контролирующая исполнение задачи;
- «Заголовок» – имя задачи;
- «Описание» – описание и комментарии к задаче;
- «Приоритет» – обязательный параметр, представленный выпадающим списком и содержащий значения «Низкий», «Средний» и «Высокий»;
- «Срок исполнения» – дата и время, к которому должна быть завершена задача, чтобы не получить статус «Просроченная».

Система документооборота позволяет пользователям осуществлять работу с документами, помещёнными в «Библиотеку документов». Для этого из дашлета «Мои сайты», расположенного на домашней странице пользователя, необходимо перейти по ссылке на необходимый сайт, например «Документы ПГУАС» (рис. 8).

После перехода на главную страницу сайта заходим в раздел «Библиотека документов» (рис. 9).

В этом разделе пользователь может создать каталог своих документов, нажав кнопку «Новая папка» и заполнив поля в открывшемся окне (рис. 10). Обязательным для заполнения является поле «Имя».

После того как документ был добавлен, с ним можно совершать следующие операции: загружать, просматривать в браузере, копировать, перемещать, удалять, изменять версию и управлять правами, а также прикреплять к задачам.

У каждой созданной задачи есть статус, который отражает этап выполнения и может быть изменен только исполнителем задачи. Каждому статусу соответствует определённый цвет индикатора рядом с именем задачи (рис. 11). Системой документооборота предусмотрены следующие статусы: «Новая», «Выполнение», «Ожидание», «Завершена», «Просрочена».

«Новая» – задача, статус которой ещё не менялся исполнителем. Цвет индикатора серый.

«Выполнение» – статус изменен исполнителем, или задача была снова открыта контролером. Цвет индикатора желтый.

«Завершена» – статус присваивается после нажатия кнопки «Выполнить» исполнителем. Если задача контрольная, то завершение должен подтвердить контролер. Цвет индикатора зеленый.

«Просрочена» – статус присваивается автоматически, если задача не была завершена в срок. Индикатор в виде восклицательного знака.

Создать задачу

* Обязательные поля

Участники

Групповая: Контрольная:

Получатели: На контроле:

Информация

Заголовок:

Описание:

B I | ☰ ☰ ☰ | A ▾ | ↶ ↷ ↻

Приоритет: * Средний ▾

Срок исполнения:

Трудоемкость: ?

Категория: ▾

Проект: <Параметры недоступны>

Метки:

Рис. 7. Страница «Создать задачу»

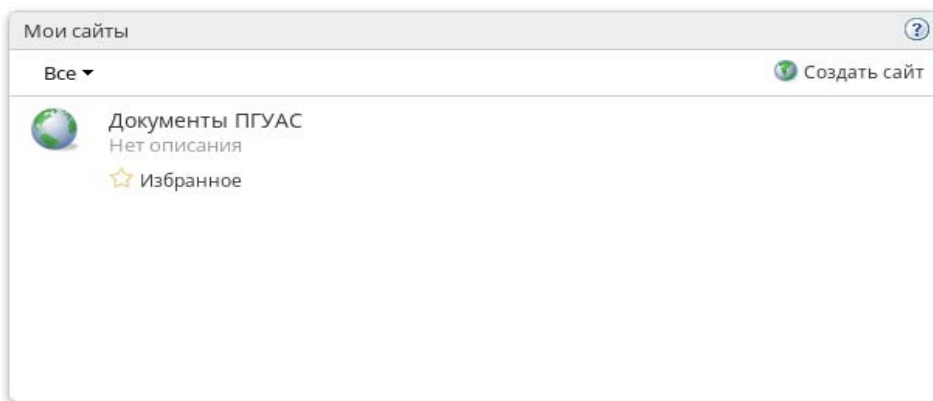


Рис. 8. Дашлет «Мои сайты»

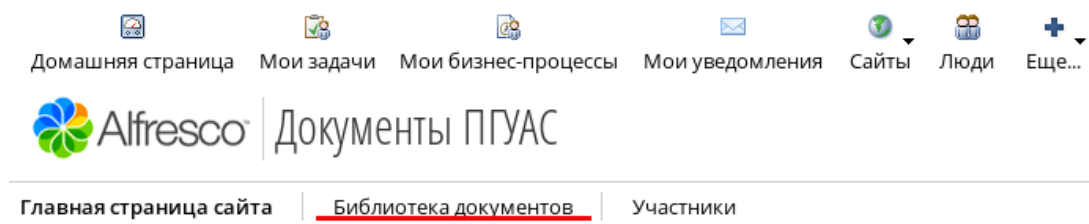


Рис. 9. Раздел «Библиотека документов»

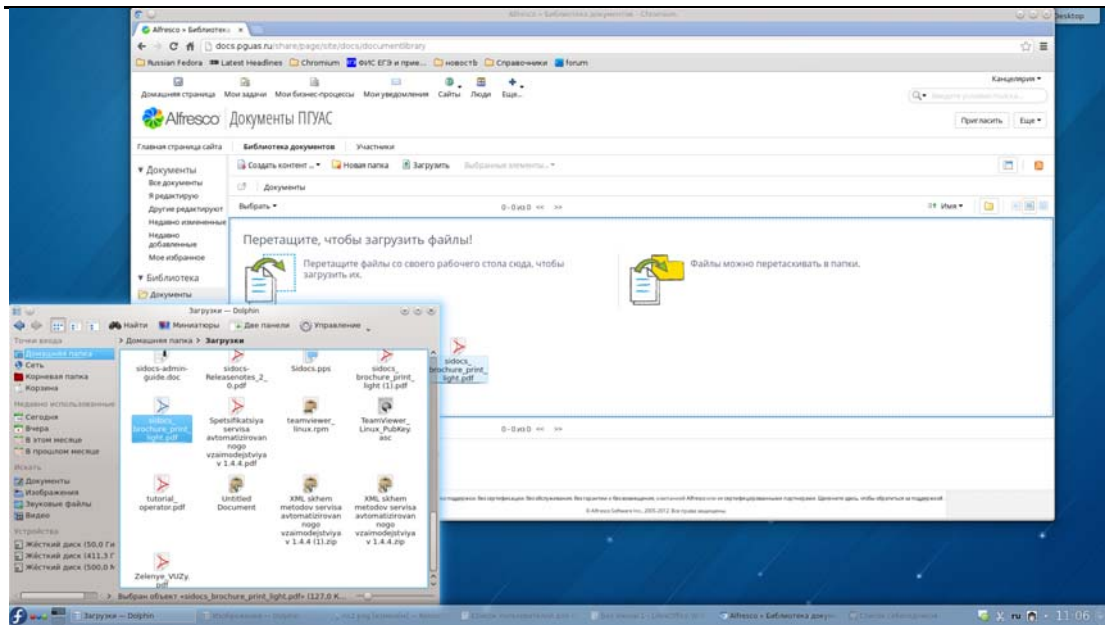


Рис. 10. Добавление документа

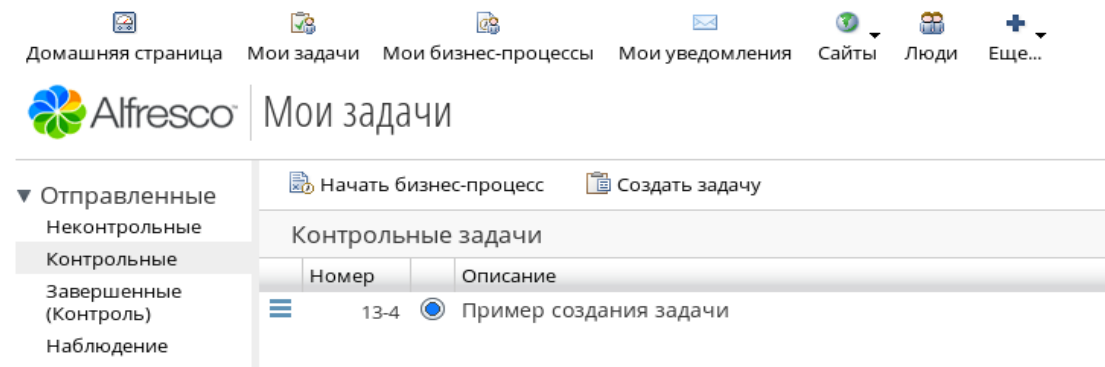


Рис. 11. Задача со статусом «Ожидание»

Просмотреть задачи, назначенные вашему пользователю, можно в дашлете «Мои задачи» на домашней странице пользователя или в разделе «Мои задачи» главного меню.

Раздел «Мои задачи» содержит следующие категории:

- Все;
- Неназначенные;
- Завершенные (исполнитель);
- Исполнение;
- Мои;
- Ожидание;
- Ознакомление;
- Рассмотрение;
- Согласование;
- Утверждение.

В зависимости от статуса задача может быть помещена в категорию «Неназначенные», «Завершенные (исполнитель)» и «Исполнение». В остальные категории пользователь может перемещать задачи самостоятельно, используя карточку задачи.

СЭД позволяет создавать архивы документов. На рис. 13 показана иерархическая структура архива документов кафедры ИВС. Документы можно хранить в иерархической структуре, которую создает администратор архива. Архив поддерживает хранение любых типов файлов.

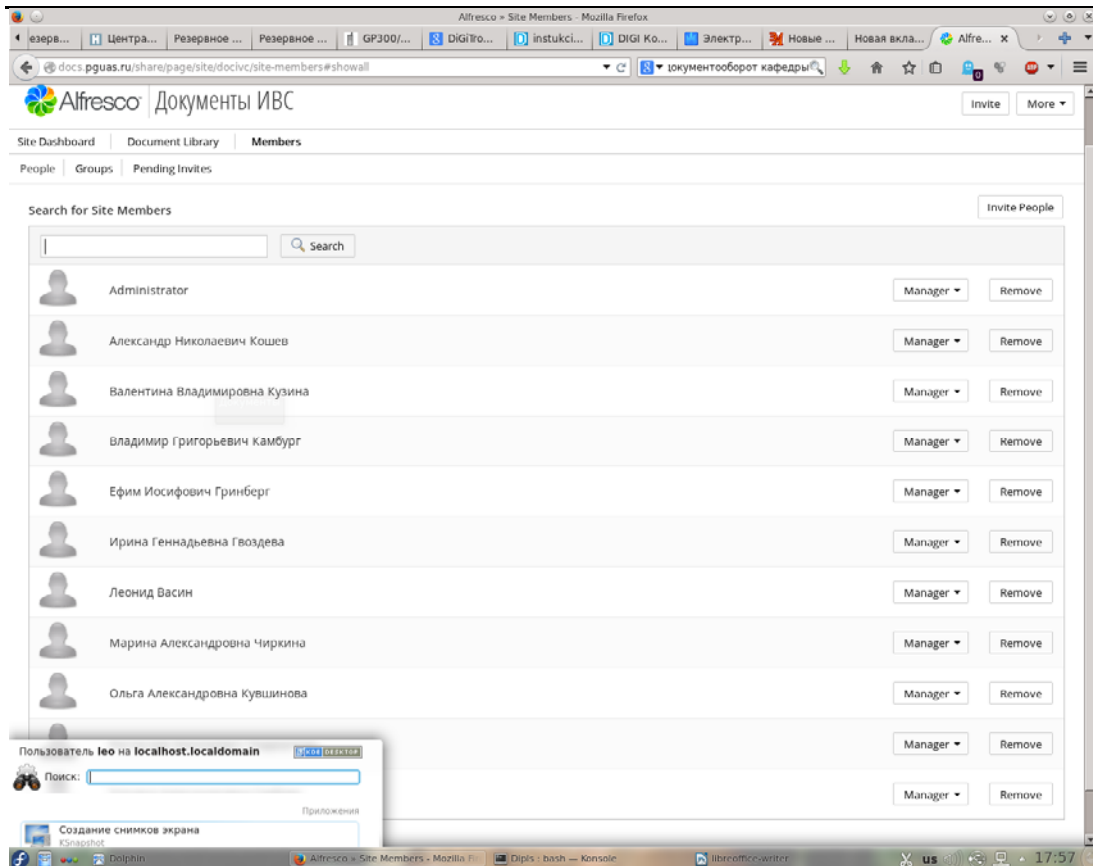


Рис. 12. Список пользователей документооборота кафедры «ИВС»

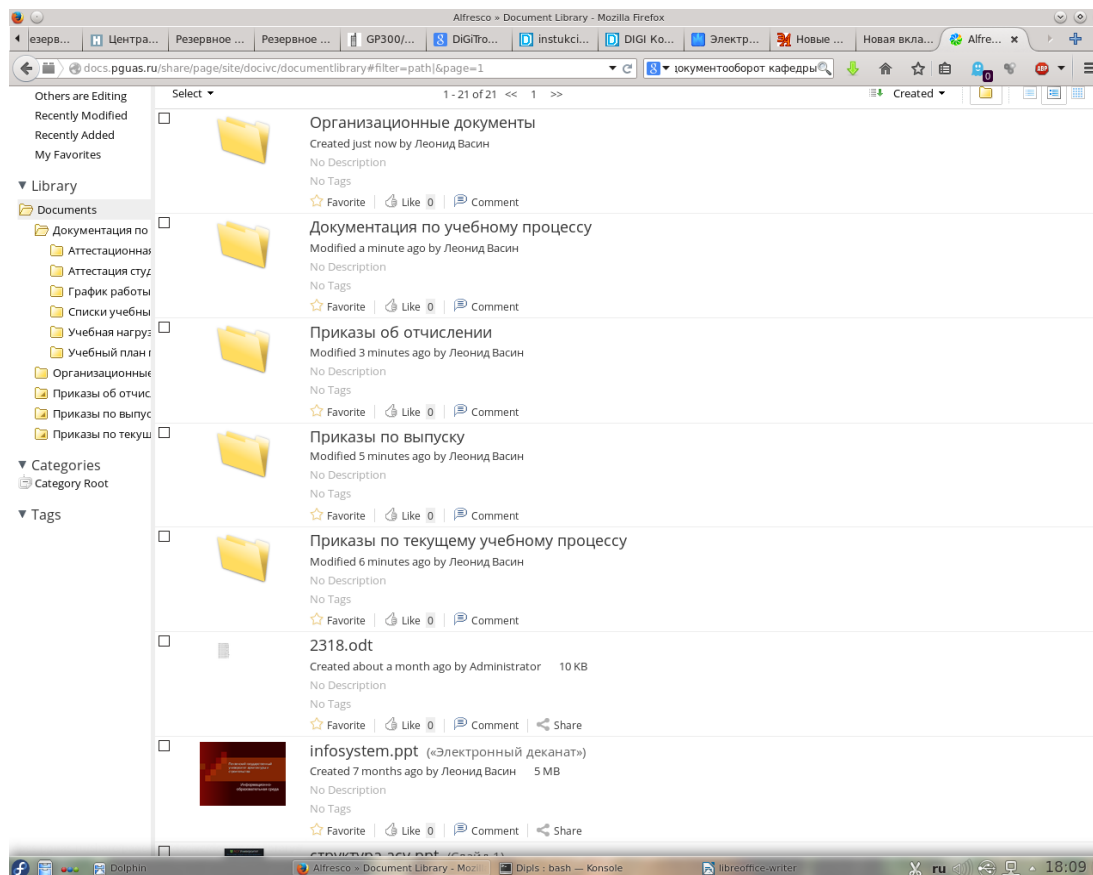


Рис. 13. Архив документов кафедры

Выводы:

1. Система электронного документооборота на платформе Linux позволяет создать полноценную систему электронного документооборота университета.
2. Использование системы документооборота обеспечивает контроль исполнения поручений.
3. Реализуется возможность создания хранилища оперативных и долгосрочных документов.
4. Обеспечивается использование существующей базы пользователей в информационной системе университета путем подключения сервера электронного документооборота к серверу каталога LDAP.

Список литературы

1. Андрейченко, А.А. Технология реализация системы электронного документооборота вуза на основе объектно-ориентированной программной среды / А.А. Андрейченко // Новые информационные технологии: тезисы докладов XVII Международной студенческой конференции-школы-семинара. – М.: МИЭМ, 2009. – 399 с.
2. Unix и Linux. Руководство системного администратора / Эви Немет, Гарт Снайдер, Тренд Р.Хейн, Б.Н. Уэйли. – М.: Вильямс, 2014. – 1312 с.

References

1. Andreichenko, A.A. Technology implementation of the system of electronic document exchange of the university on the basis of the object-oriented software environment / A.A. Andreichenko // New Information Technologies: theses of the reports of the XVII International Student Conference-School-Seminar – M.: MIEM, 2009. – 399 p.
2. Unix and Linux. System Administrator's Guide / Evi Nemet, Garth Snyder, Trend R.Hein, B.N. Wayley. – M.: Williams, 2014. – 1312 p.

УДК 005.334:[330.322+69]

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

Учаева Татьяна Владимировна,
кандидат экономических наук
доцент кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

Иванова Дарья Сергеевна,
студентка
E-mail: dasha.ivanova.9@yandex.ru

*Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации*
Россия, 440052, г. Пенза,
ул. Калинина, д.33Б,
тел.: (8412) 35-37-10

Духанина Елена Владимировна,
кандидат экономических наук
E-mail: duhanina_lena@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

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Candidate of Economics, Associate Professor
of the department «Economics, Organization
and Management»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

Ivanova Daria Sergeevna,
Student
E-mail: dasha.ivanova.9@yandex.ru

*Financial University under the Government of
the Russian Federation*
Russia, 440052, Penza, 33B, Kalinina St.,
tel.: (8412) 35-37-10

Dukhanina Elena Vladimirovna,
Candidate of economic Sciences
E-mail: duhanina_lena@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Т.В. Учаева, Е.В. Духанина, Д.С. Иванова

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при анализе рисков строительных предприятий. В разных аспектах систематизированы и представлены виды рисков, характерных для строительного бизнеса. Рассмотрена необходимость внедрения системы риск-менеджмента. Предложен сценарный подход в управлении рисками.

Ключевые слова: риски строительных предприятий, систематизация рисков, принципы управления рисками, анализ рисков, риск-менеджмент

FORMATION OF A RISK MANAGEMENT SYSTEM AT ENTERPRISES OF INVESTMENT AND CONSTRUCTION COMPLEX

T.V. Uchaeva, E.V. Dukhanina, D.S. Ivanova

The main problems arising in the analysis of risks of construction enterprises are considered. In different aspects, the types of risks typical for the construction business are systematized and presented. The necessity of introduction of a risk management system is considered. The scenario approach in risk management is offered.

Keywords: risks of construction companies, risk systematization, risk management principles, risk analysis, risk management

Сфера строительства занимает особое место в системе национальной экономики. Оно определяется ролью «преобразователя» инвестиционных ресурсов в форме капитальных вложений, обеспечивающего необходимые условия для экономического развития. Однако эта сфера наиболее подвержена рискам, о чем говорит многолетний опыт функционирования строительных предприятий. Источниками рисков выступает

как внешняя среда, так и внутренние параметры предприятия. И тот факт, что деятельность строительных предприятий в рыночной среде постоянно характеризуется потерей финансовой устойчивости, говорит о том, что проблемы антикризисного управления строительными предприятиями стоят достаточно серьезно, и поэтому на сегодняшний день создание программы по управлению рисками строительных предприятий приобретает особую актуальность.

Факторы, которые образуют риски, присутствуют во всех ресурсах строительной отрасли, а именно предметах труда, основных производственных фондах, инвестициях в основной капитал, живом труде и т.д.

Согласно опыту международных компаний, стабильность развития бизнеса, в том числе строительного, невозможна без внедрения и использования системы риск-менеджмента в качестве составной части системы управления предприятием.

Система риск-менеджмента в первую очередь направлена на достижение баланса между получением прибыли и сокращением убытков деятельности предприятия и должна стать частью системы управления предприятием. Только при соблюдении этих условий использование системы риск-менеджмента будет эффективным.

Риск-менеджмент – процесс принятия и реализации управленческих решений, которые минимизируют или полностью устраняют отрицательное влияние на предприятие убытков, причиненных рисковыми событиями.

Данная система подразумевает создание необходимой инфраструктуры бизнеса с целью:

- выявления причин и факторов возникновения рискованных ситуаций;
- идентификации, анализа и оценки рисков;
- осуществления антирисковых управляющих воздействий;
- уменьшения риска до безопасного уровня;
- контроля выполнения намеченной программы;
- оценки результатов рискованного решения.

Назовем основные принципы системы риск-менеджмента на уровне предприятия:

– система управления рисками – это часть общего управления предприятием, что означает соответствие стратегии его развития и институциональных особенностей его функционирования;

– цели и задачи предприятия отражают особенности системы управления рисками;

– учет внешних и внутренних ограничений является частью системы управления рисками, что говорит о наличии определенных возможностей координации деятельности и условий функционирования предприятия;

– должна проводиться единая политика по управлению рисками при идентификации рисков, которая требует контроля всех возможных рисков, угрожающих предприятию;

– процесс управления рисками – это динамический процесс, что обусловлено непрерывным процессом принятия решений, которые связаны с управлением рисками.

Предприятие руководствуется данными принципами при разработке системы риск-менеджмента, которая зависит от рыночной стратегии предприятия. Если предприятие ориентировано на поддержание своей финансовой устойчивости, то меры по управлению рисками будут ориентированы на компенсацию факторов финансовой неустойчивости, которые находятся в бизнес-среде, и, соответственно, будет реализован принцип учета внешних факторов.

Система риск-менеджмента имеет свои особенности, которые связаны с характеристиками объекта строительства, целями и методами управления. Наибольшая вероятность наступления рискованного события присуща строительной фазе, где возникают производственные и финансовые риски. К наиболее существенным из них следует отнести:

- низкую платежеспособность заказчика;
- увеличение цен на энергоносители;
- увеличение цен на строительные материалы.

Анализ рисков является главным элементом системы управления рисками. Инструментарий должен включать в себя методы идентификации рисков событий, оценки вероятности их возникновения и систем воздействия на показатели деятельности строительного предприятия.

При разработке системы риск-менеджмента выбирают методы минимизации или методы полного устранения рисков. Здесь должны быть применены методы, которые, во-первых, устраняют угрозу путем устранения ее причин, а во-вторых – уменьшают возможный размер потерь в результате наступления рисков события. Существует также ряд методов минимизации рисков, которые косвенно воздействуют на качество организации системы риск-менеджмента и управление предприятием в целом, например повышение эффективности использования кадрового потенциала или оптимизация организационной структуры предприятия.

Данные методы необходимо использовать при составлении сценариев рыночного функционирования предприятия. Сценарный подход в управлении рисками в разрезе бизнес-процессов должен быть ориентирован на внутренние факторы, а также возможности их преобразования.

Сценарии управления рисками

Источник риска	Варианты изменений, компенсирующих риск
Обеспечение основными средствами	Аренда основных средств. Продажа избыточных активов. Приобретение основных средств. Лизинг
Кадровый потенциал	Постоянный штатный состав. Временно привлекаемые работники требуемой квалификации
Обеспечение материальными ресурсами	Использование системы «точно в срок». Осуществление оптимальных закупок с собственными складами

На организацию системы риск-менеджмента конкретного строительного предприятия оказывают влияние не только внешние, но и внутренние факторы, то есть организационные возможности предприятия. Факторы риска, которые характерны для строительного бизнеса, следует рассматривать исходя из:

- особенностей строительного производства;
- особенностей строительной продукции;
- особенностей бизнес-процессов;
- особенностей рынка подрядных работ.

При реализации инвестиционно-строительного проекта все его участники будут подвержены значительному количеству рисков. Но наибольшая доля ответственности ложится на подрядные организации, так как подрядчики несут ответственность за:

- повреждение объекта строительства до приемки его заказчиком;
- несохранность имущества, которое предоставляется заказчиком;
- качество предоставленных материалов и оборудования;
- нарушение сроков выполнения работы;
- качество готового объекта.

Управление рисками является актуальным и в стабильной ситуации, что обусловлено постоянной конкуренцией на строительном рынке. Если ситуация стабильна, то управление рисками целесообразно осуществлять в следующих аспектах:

- риски текущей деятельности: риски бизнес-процессов; риски бизнес-проектов;
- риски показателей, которые определяют преимущества на торгах: риски при управлении качеством; риски при управлении издержками; риски при управлении сроками;

– риски инвестиционно-строительных проектов: риски по фазам жизненного цикла проектов.

Особенности деятельности каждого отдельного строительного предприятия состоят в том, что каждый объект строительства является отдельным инвестиционно-строительным проектом, который имеет определенную автономию в рамках своей производственной программы.

Ослабление рыночной позиции строительных предприятий является результатом нарушения сроков сдачи объектов строительства, превышения сметной стоимости и т.д. Таким образом, использование эффективной системы анализа рисков, характерных для строительного предприятия, а также планирование и разработка мероприятий системы риск-менеджмента будут способствовать совершенствованию системы управления рисками конкретного строительного предприятия.

Таким образом, разработка системы риск-менеджмента увеличивает эффективность инвестиционной и финансовой деятельности строительного предприятия. Эффективное функционирование этой системы должно стать приоритетным для строительных предприятий, включая обеспечение ее комплексности и дифференцируемости в зависимости от рисков на разных этапах строительства.

Список литературы

1. Артамонова, Ю.С. Развитие строительных предприятий в условиях риска / Ю.С. Артамонова, О.Л. Чазова, Б.Б. Хрусталеv // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 125. – С. 987–991.
2. Батова, И.Б. Классификация рисков и причины их возникновения / И.Б. Батова // *Международный студенческий научный вестник*. – 2015. – № 1.
3. 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. Artamonova, S.Yu. Development of construction enterprises in the conditions of risk / S.Yu. Artamonova, O.L. Chazova, B.B. Khrustalev // *Fundamental research*. – 2015. – No. 125. – P. 987–991.
2. Batova, I.B. Classification of risks and their causes / I.B. Batova // *International student scientific Bulletin*. – 2015. – No. 1.
3. Uchaeva, T.V. Role of financial analysis in improving the efficiency of construction enterprise / T.V. Uchaeva, D.S. Ivanova // *Regional architecture and engineering*. – 2016. – №2 (27). – P. 161–166.